


EX-LIBRIS
MARCEL BEKUS

ESSAI PRATIQUE

SUR LA FORCE

DU FER COULÉ

ET D'AUTRES MÉTAUX.

IMPRIMERIE DE HUZARD-COURCIER,
rue du Jardinet, nº 12.

ESSAI PRATIQUE

SUR LA FORCE

DU FER COULÉ

ET D'AUTRES MÉTAUX,

Destiné à l'usage des Ingénieurs, des Maîtres de forges, des Architectes, des Fondeurs, et de tous ceux qui s'occupent de la construction des Machines, des Bâtimens, etc., contenant des Règles pratiques, des Tables et des Exemples, le tout fondé sur une suite d'Expériences nouvelles, et une Table étendue des propriétés de divers Matériaux;

PAR THOMAS TREDGOLD,

Ingénieur civil, Membre de l'Institution des Ingénieurs civils, Auteur des *Principes élémentaires de Charpente*, etc.;

TRADUIT DE L'ANGLAIS SUR LA DEUXIÈME ÉDITION,

PAR T. DUVERNE,

Ancien Officier de la Marine Royale, Chevalier de l'Ordre de Saint-Louis.

PARIS,

BACHELIER (SUCCESSEUR DE MME V^E^ COURCIER),

LIBRAIRE POUR LES SCIENCES,

QUAI DES GRANDS AUGUSTINS, N° 55.

1826

AVERTISSEMENT

DU

TRADUCTEUR.

L'APPLICATION de la Physique aux arts mécaniques prend chaque jour plus d'extension, et ce développement, réagissant sur la science à laquelle il est dû, nécessite une étude sans cesse plus approfondie des propriétés des corps. Le temps n'est pas éloigné où la pratique ne voudra plus faire un pas sans être éclairée par la théorie, où le plus simple entrepreneur de constructions n'emploiera plus que des matériaux dont il connaîtra bien la force et les différentes qualités.

Parmi les savans étrangers qui se sont occupés des recherches et des expériences relatives aux propriétés des corps, M. Tredgold est un de ceux qui paraissent avoir eu plus particulièrement en vue de se mettre à la portée d'un

plus grand nombre de lecteurs. Si nous avons réussi dans la traduction de son ouvrage sur l'*Art de chauffer et d'aérer les édifices publics, etc.*, que nous venons de publier, on aura déjà une idée avantageuse de la clarté avec laquelle il sait présenter l'explication des sujets qu'il traite. Son Essai sur la Force de la Fonte nous a paru avoir le même mérite, et nous nous sommes décidé d'autant plus volontiers à faire passer aussi cet ouvrage dans notre langue, qu'il n'a été jusqu'à présent publié en France aucun traité où le même sujet ait reçu des développemens proportionnés à son importance.

PRÉFACE.

Je me suis proposé en composant cet Ouvrage de donner au public un Traité pratique qui lui manque sur la force du fer coulé. L'utilité et l'importance d'un pareil travail seront appréciées par ceux qui considéreront les conséquences sérieuses qui peuvent résulter des vices dans l'emploi de cette matière. On s'en sert pour les supports principaux des églises, des théâtres, des manufactures, des magasins; pour les ponts, les toits, les planchers, ainsi que pour les parties qui reçoivent le mouvement dans les machines plus puissantes. Si, par suite d'un défaut de force, il vient à manquer en quelque endroit, cet accident arrivera très probablement au moment où ses conséquences seront les plus sérieuses. Je crois donc pouvoir dire, sans exagérer l'importance de l'objet de cet Ouvrage, que s'il est un sujet qui exige plus qu'un autre le secours de la science, c'est l'emploi des supports en fer de fonte.

Les grandes améliorations qui ont eu lieu dans la fabrication du fer sont sans doute principalement dues aux avantages particuliers qu'on tire de l'emploi de ce métal dans les parties de la Grande-Bretagne où sont placées les mines et les manufactures, et l'immense quantité qui s'en

consomme dans ces provinces, est une des meilleures preuves de son utilité et de sa valeur.

L'effet de ces améliorations a été de permettre aux fabricans de diminuer le prix du fer, et cette diminution a été assez grande pour qu'on puisse, aujourd'hui, employer ce métal au lieu des bois étrangers, dans plusieurs parties importantes des bâtimens et des machines, en ne dépensant que très peu d'argent de plus, tandis qu'on obtient une augmentation considérable en solidité et en durée. Cependant l'emploi du fer ne convient pas toujours. Si l'on voulait, par exemple, que le froid en hiver, et la chaleur en été, ne pénétrassent pas dans une maison, il n'en faudrait pas construire entièrement en fer le toit ou toute autre partie considérable; car il serait difficile de trouver une autre matière propre à cet objet, qui se laissât pénétrer par la chaleur avec autant de rapidité que ce métal. Mais il est encore plus imprudent d'élever des murs en briques pesantes ou en pierres, sur des supports de bois, si sujets à dépérir et si facilement détruits par le feu; et cependant près de la moitié des maisons de Londres sont en partie supportées par des poteaux de bois. Si l'on emploie le bois pour prévenir les tassemens dans les fondations dont le sol est mou ou irrégulier, le bois se détruit, et il arrive des tassemens plus dangereux que ceux qu'il était destiné à prévenir (1); dans tous les cas semblables, le fer pourrait être employé avec succès.

---

(1) *Voyez* Napier's Supp. to Encyc. brit. art. Stone Masonry, parag. 60.

Si l'on examine avec soin l'état actuel des arts mécaniques, on se convaincra, je pense, que l'on n'étudie pas assez les propriétés physiques et mécaniques des corps. Si cette étude était suivie, si elle faisait partie de l'éducation du jeune artisan; c'est-à-dire s'il était préparé par un cours régulier d'études expérimentales sur la nature et les propriétés des matériaux, ses progrès dans un art quelconque ne seraient-ils pas rendus beaucoup plus faciles? L'expérience, lente dans ses leçons, procure au praticien quelques connaissances dans cette matière; mais ce sont des connaissances bornées à quelque objet particulier, et qui font naître des préjugés en faveur de certaines choses et de certains modes d'opérer. L'idée d'une histoire mécanique qui appartient à Bacon (1) et que Diderot a cherché à réaliser dans l'Encyclopédie, n'est pas aussi propre à remplir l'objet qu'il avait en vue, qu'un cours bien entendu d'expériences sur la nature, les formes et les propriétés des matériaux, appuyé d'explications sur la manière de les employer dans les arts. On a déjà beaucoup fait en Chimie; mais une école expérimentale de la Science mécanique reste encore à établir.

Je me bornerai à ce peu de mots sur le manque de recherches expérimentales des propriétés mécaniques des corps, et je vais maintenant faire connaître au lecteur la nature de l'Ouvrage que je recommande à son attention, et que de nouvelles expériences continuées pendant une année entière, et une grande suite de recherches m'ont permis d'améliorer.

---

(1) Of the advancement of Learning. Book II, Bacon's Works.

Cet Ouvrage est divisé en onze sections.

La *première section* contient, sous le titre d'introduction, des remarques sur les qualités et l'usage du fer coulé; on y fait connaître les précautions qu'exige son emploi. Elle est suivie de trois Tables étendues qui épargneront le plus souvent, dans la pratique, des calculs longs et pénibles.

La *seconde section* explique l'arrangement et l'usage des Tables qui la précèdent, et le nombre des exemples familiers a été beaucoup augmenté dans cette édition.

C'est un fait commun et bien connu, qu'une poutre uniforme ne se trouve pas également chargée dans toutes ses parties, et que l'on peut en réduire les dimensions de manière à diminuer en même temps et la charge et la dépense en matière.

La *troisième section* fait voir la valeur du fer coulé employé comme support; on y décrit les formes qui conviennnent à différens cas particuliers.

La *quatrième section* contient une explication à la portée de tout le monde, sur les formes qui présentent le plus de force pour les sections des poutres; on y explique la manière de construire les pièces ouvertes, et l'on y fait connaître la meilleure forme à donner aux arbres tournans carrés ou cylindriques. Une attention convenable à ces deux dernières sections mettra le jeune praticien en état de se tenir en garde contre quelques erreurs communes, quand il voudra employer les matériaux dont il y est question.

La *cinquième section* est entièrement consacrée à des expériences sur la fonte; on trouvera qu'elle contient, outre mes propres expériences, la presque totalité

de celles qui ont été publiées par d'autres écrivains. Celles que j'ai faites dans le dessein d'établir des règles propres à servir dans la pratique, l'ont été en considérant le sujet sous un point de vue différent de celui sous lequel l'envisageaient les auteurs des expériences antérieures; point de vue plus convenable pour l'exécution pratique; point de vue qui montre que l'on peut avoir toute confiance dans ma théorie sur la force des matériaux, en se renfermant dans de justes limites, et qu'au-delà de ces limites les matériaux ne doivent jamais être employés pour porter des charges dans quelque construction que ce soit (1). Il serait bien à désirer que l'on fît quelques expériences exactes sur l'extension des corps, quand la pression excède la force élastique; puisque par ce moyen on pourrait découvrir quelque chose d'important sur la ductilité de la matière; et que ces expériences jetteraient peut-être quelque lumière sur la nature et l'arrangement des dernières molécules des corps.

J'ai ajouté à cette section un grand nombre de nouvelles expériences pour montrer la force relative du fer de différentes qualités, et de plus sept expériences nouvelles sur la torsion, faites par MM. Bramah. Je la termine par le résultat de mes propres observations sur la relation qui existe entre l'apparence de la fracture et la force de la fonte telle que l'établissent les expériences.

---

(1) C'est principalement au docteur T. Young que nous devons nos idées sur la nécessité d'avoir égard à la pression qui produit une altération permanente. Nat. Phil., vol. I, p. 141. J'ai trouvé dans son estimable Ouvrage, des secours inappréciables pour la composition de mon Essai.

La *sixième section*, entièrement neuve, contient des expériences sur le fer malléable et sur d'autres métaux. L'effet du martelage et la diminution de force par la chaleur y sont soumis à des expériences; on y indique la cause qui fait que les fers anglais sont, pour certains usages, inférieurs aux fers de Suède.

Dans la *septième section*, j'ai fait voir comment on déduit quelques-unes des règles les plus utiles dans la pratique des premiers principes que fournit l'expérience. J'ai suivi, dans la recherche de ces règles, une marche un peu différente de celle des autres écrivains, et j'ai évité d'employer le calcul différentiel (1). J'y ai examiné divers cas

---

(1) J'ai évité le calcul des fluxions à cause de la manière obscure dont ses principes sont expliqués par les auteurs que j'ai consultés sur ce sujet. Je ne saurais me faire à l'idée qu'un des termes d'une proportion doive s'évanouir pour obtenir un résultat correct; ce ne peut pas être un bon raisonnement; je n'en suis pas moins persuadé, mais par d'autres raisons, que les conclusions auxquelles on arrive sont exactes. Si la doctrine des fluxions était dégagée des termes obscurs de limites, de rapports, d'accroissemens qui s'évanouissent, etc., elle n'offrirait réellement pas de grandes difficultés. Si l'on représente l'accroissement d'une quantité variable par une progression (comme on l'a fait article 249, sect. XI), chacun des termes de cette progression, à l'exception du dernier, répond à ce que l'on a nommé une fluxion; et la somme de la progression est semblable à une fluente. Une fluxion est donc la vitesse d'accroissement d'une quantité variable qui va en augmentant, ou la vitesse de décroissement d'une variable qui va en diminuant; dans la supposition que l'on prend la vitesse en un point quelconque et qu'on la considère comme étant uniforme. Mais quand vous vous servez de cette vitesse uniforme pour représenter une vitesse accélérée; et quand vous dites que le rapport de ces vitesses s'approche

nouveaux, et j'ai fait quelques additions à la théorie de la résistance; le lecteur trouvera des exemples dans la partie où je traite de la force des poutres (depuis l'art. 77 jusqu'à l'art. 85^b), de leur inflexion (art. 90 à 93^c),

---

d'un rapport d'égalité comme de sa limite, tandis que l'espace ou le temps mis à le parcourir va en diminuant jusqu'au point d'évanouissement. il doit m'être permis de refuser mon assentiment à votre doctrine, car il est clair que le rapport exact d'égalité ne peut s'obtenir que lorsque l'espace décrit est nul, et que par conséquent il ne saurait, en bonne logique, être employé pour comparer les espaces engendrés quand ils deviennent d'une grandeur finie.

Robins et Maclaurin ont fait voir que leurs raisonnemens étaient d'accord avec la pratique des anciens géomètres; mais pour donner de l'importance à leurs théories, ces géomètres employaient une méthode subtile et métaphysique, plutôt que de faire ingénuement l'aveu que leurs calculs n'étaient que des essais approximatifs; il n'existe maintenant aucune raison pour continuer à les imiter. La science de l'étendue, ou la géométrie, est complètement distincte de celle des nombres ou de l'analyse. Le mélange qu'on en a fait et qui a été commencé par les anciens, a nui à l'une et à l'autre; il est inutile de rechercher comment les anciens géomètres en étaient arrivés à croire que la doctrine des nombres et celle de l'étendue reposaient sur des principes communs; mais dès l'entrée du cinquième livre d'Euclide, il faut dire adieu à la Géométrie pure; et dans le reste de l'ouvrage, l'auteur a souvent recours à une méthode métaphysique plus propre à forcer le consentement qu'à convaincre le jugement; et la même méthode se retrouve dans la plupart des livres des plus anciens géomètres. En négligeant la Géométrie pure on a ouvert une ample carrière à un grand étalage de science. Je suis reconnaissant envers les amis obligeans qui ont pris quelques peines pour redresser mes idées sur ce sujet; ils verront que j'ai profité jusqu'à un certain point de leurs observations.

de la pression sur les poutres (art. 96 à 104), ainsi que dans les neuvième et dixième sections.

La *huitième section* traite de la force de résistance à la pression latérale et de son application à quelques cas particuliers.

La *neuvième section* a rapport à la force et à la roideur pour résister à la torsion, et à l'application qu'on en doit faire dans la construction des machines.

La *dixième section* traite de la force des colonnes, des piliers, des liens; on y trouve quelques nouveaux exemples. Il peut être utile de remarquer que les méthodes les plus savantes de l'analyse ont été appliquées aux mêmes sujets par Euler, la Grange, et d'autres mathématiciens, sans arriver à des résultats plus exacts, plus simples ou plus commodes dans la pratique.

Dans la *onzième section*, j'ai considéré la résistance des poutres à une force d'impulsion. On trouvera dans cette section plusieurs règles importantes et des exemples de leur application aux ponts, aux parties qui donnent le mouvement aux machines, etc. On y verra aussi quel avantage il y a à employer des poutres en fer.

A la suite de la *onzième section* on a placé une table étendue des propriétés de divers matériaux, et d'autres données d'un usage fréquent dans les calculs. Cette table rangée dans l'ordre alphabétique, a été fort augmentée pour cette édition; elle peut servir à appliquer à différentes sortes de substances les règles données dans cet Ouvrage sur la force de la fonte.

J'ai ajouté à la fin de cette table une note sur l'action chimique qu'exercent quelques corps sur la fonte. Elle sera lue avec intérêt par ceux qui emploient ce métal

dans des situations où il se trouve exposé à l'action de l'eau de mer.

On s'apercevra, en général, que les exemples ont été choisis dans la vue d'expliquer les applications des règles dans la pratique, et de bien faire connaître au lecteur les limites et les précautions qu'il est nécessaire d'observer. Il est de fait que le défaut d'instruction dans ce genre a souvent décrédité la théorie dans l'esprit de quelques personnes, lorsqu'elles n'auraient dû accuser que celui qui en avait fait une fausse application.

On trouvera, je l'espère, dans cet Ouvrage, très peu de choses de quelque importance qui ne soient pas appuyées de raisons suffisantes. J'ai quelquefois été forcé de m'arrêter dans mes développemens, afin d'y faire entrer le moins de mathématiques possible; de semblables omissions devront être excusées par le lecteur, jusqu'à ce qu'une plus grande instruction dans les mathématiques soit devenue commune dans la classe des artisans; j'espère que cette époque n'est pas bien éloignée.

Je serai très reconnaissant envers toute personne qui voudra bien me communiquer quelque expérience ou quelque observation propre à confirmer ou à rectifier les résultats de mon travail.

J'ai été aussi sensible que je le devais, à l'accueil que le public a fait à mon Ouvrage, accueil qui m'a promptement fourni l'occasion de lui offrir tous mes remercîmens. J'en dois particulièrement à MM. Bramah et à M. Bevan, aux premiers pour les échantillons et les détails d'expériences qu'il m'ont donnés, et à M. Bevan pour les corrections qu'il a faites à des fautes d'impression.

Je travaille à donner une seconde partie à cet Ouvrage; j'y traiterai de la force des tuyaux, des chaudières, etc.; des chaînes pour résister à l'impulsion et à la pression; des ponts suspendus et des autres ponts en fer; des pièces moulées pour les toits, les ponts, les moulins, et les machines.

ESSAI PRATIQUE
SUR LA FORCE
DU FER COULÉ
ET D'AUTRES MÉTAUX.

SECTION PREMIÈRE.

INTRODUCTION.

1. La sûreté qu'offre la fonte (1), quand elle est convenablement employée, pour porter des poids considérables, des mouvemens de machines, et pour résister à de fortes pressions, en a, dans ces derniers temps, considérablement étendu l'usage, et il est probable qu'elle finira par remplacer entièrement le bois dans beaucoup de travaux importans. Les améliorations qui ont été le résultat de

---

(1) Le nom de fonte étant généralement employé pour désigner le fer fondu, soit en gueuse et en saumons, soit coulé et moulé, on l'a adopté dans cette traduction, quoique moins exact que celui du fer coulé.

(*Note du traducteur.*)

cet emploi sont si grandes, en effet, que l'époque où il est devenu général a été considérée avec raison comme formant une ère nouvelle dans l'histoire des machines (1). « Tous les autres perfectionnemens, a-t-on dit, ont été limités, bornés à des machines particulières ; mais celui-ci ayant augmenté la force et la durée de toute espèce de machine, l'amélioration a été générale (2) ».

La fonte est une matière précieuse, parce qu'elle n'a pas à craindre le feu, qu'elle n'est pas sujette à dépérir subitement, ou à être détruite en peu de temps par l'usage, et qu'on peut facilement lui donner, en la moulant, la forme qui lui conserve sa plus grande force, ou celle qui convient le mieux à l'objet qu'on se propose.

Les conséquences funestes qui peuvent résulter de l'emploi du bois pour supporter des constructions pesantes, soit par suite d'incendie, soit à raison de dépérissement, ont été souvent prévues ; mais il est arrivé quelquefois que des constructions dans lesquelles on avait employé le fer pour être plus en sûreté contre le feu, ont manqué

---

(1) Essays on Mill Work, etc., by Robertson Buchanan. Essay II, p. 254.

(2) Détails de quelques expériences sur la fonte. Doctor Thomson's Annals of Philosophy, vol. XIII, p. 200.

par défaut de force. Ces accidens n'ont point été occasionnés par quelque défectuosité dans le métal même ; mais il arrive trop souvent que les travaux de cette nature sont conduits par des hommes de peu d'expérience, et qui ont encore moins de théorie. Les personnes sans expérience s'imaginent qu'une grosse pièce de fer a une force presque infinie, et souvent aussi elles ont des idées très incorrectes sur la pression. Elles veulent plaire à l'œil sans égard pour la bonté, la force ou la durée; au lieu d'orner un support, elles font du support même un ornement, et sacrifient tout à la légèreté du coup d'œil. Les dimensions des parties les plus importantes des bâtimens ne sont que trop fréquemment fixées par aperçu ou au hasard; et la même personne qui calculera à un denier près ce que coûteront les matériaux, cherchera rarement, si jamais elle le cherche, à évaluer leur puissance, ou les forces auxquelles ils auront à résister.

La manière dont la résistance des matériaux a été traitée par la plupart de ceux de nos écrivains qui se sont occupés des arts mécaniques, a aussi contribué jusqu'à un certain point à égarer ceux des praticiens qui auraient voulu travailler sur des bases plus sûres. Elle a donné lieu à cette remarque satyrique que « la salubrité d'un bâti-

ment est en raison inverse de la science de l'architecte qui l'a construit (1) ».

Si l'on considère qu'il est absolument nécessaire que les parties d'un bâtiment ou d'une machine puissent conserver une certaine forme, une certaine position, et qu'elles doivent en même temps éprouver une certaine pression, il doit paraître évident qu'il y a quelque chose de plus à calculer que la simple résistance à la fracture. Dans les cas où les pièces sont courtes et volumineuses, on peut se contenter d'employer les règles relatives à la résistance contre la fracture, et donner à ces pièces assez de force pour pouvoir porter le quadruple de leur charge; mais ces cas se présentent rarement, et lorsque de longues pièces reçoivent une charge équivalente au quart de leur force, on doit s'attendre à beaucoup d'inflexions, de vibrations et d'instabilité.

Si une matière quelconque reçoit une charge qui dépasse un certain poids, elle perd le pouvoir de reprendre sa forme naturelle lorsqu'on a retiré la charge; l'arrangement de ses parties constituantes éprouve une altération durable; et si elle supporte le même poids pendant un temps consi-

---

(1) Encycl. Méth., Dict. Architecture, art. *équilibre*.

dérable, l'inflexion augmentera, et sera d'autant plus forte que la proportion entre la charge et la force d'élasticité de la matière sera plus grande (1).

J'ai fait sur cette partie de la résistance des matériaux, un grand nombre d'expériences, tant sur divers métaux que sur les bois; j'ai trouvé qu'aussi long-temps que la force élastique, ou la puissance du rétablissement, reste entière, l'alongement est toujours en raison directe de la force qui le produit, et que l'inflexion n'aug-

---

(1) Ce fait important paraît avoir été observé par Coulomb, lorsqu'il s'occupait de ses expériences sur la torsion. Mais, pour un grand nombre de substances, il semble que cette propriété de la matière se présente naturellement à notre idée. Un fil d'archal que l'on courbe retient sa courbure, et on peut le casser plus facilement en le courbant plusieurs fois qu'on ne le ferait en une seule; dans le fait, c'est ordinairement en le courbant et en le redressant plusieurs fois que nous cherchons à rompre un corps flexible, et sa force n'est supérieure à l'effort que nous faisons pour le rompre que quand cet effort ne suffit pas pour lui faire prendre une courbure permanente chaque fois que nous le répétons. Une altération permanente est une sorte de fracture partielle, et c'est par conséquent la véritable limite de la force. Le doct. Young a indiqué avec la grande sagacité qui lui est ordinaire, la grande importance de cette limite dans l'application des découvertes de la science aux arts utiles.

mente pas après que la force s'est exercée pendant une ou deux secondes; mais que quand l'effet de la charge surpasse la force élastique, l'extension ou l'inflexion devient irrégulière et augmente avec le temps. J'ai été conduit à cette recherche importante en m'occupant des proportions pour les canons, et de la méthode ordinaire pour les éprouver. Il paraît, d'après mes expériences, qu'en tirant un certain nombre de coups avec la même quantité de poudre, on pourrait faire crever un canon quand la pression est plus grande que la force élastique de la matière, quoique l'effet du premier coup ne fût pas sensible. Les mêmes remarques sont applicables à la manière d'éprouver, par la pression hydraulique, la force des chaudières et des tuyaux des machines à vapeur. Si la pression dans ces épreuves est plus grande que celle qui peut produire une altération durable, il en résulte un dommage irréparable.

Dans les parties des machines qui reçoivent le mouvement, la pression doit évidemment être plus faible que la force d'élasticité de la matière; la seconde table indique quelle flèche peut prendre et quel poids peut supporter une pièce de dimensions données, sans perdre la force élastique.

Je pense que quiconque approfondira ce sujet,

reconnaîtra que la mesure de la résistance d'un corps aux flèches, est la seule mesure convenable de sa résistance, quand elle doit être employée dans des circonstances qui demandent une forme parfaite ou une position invariable; et qu'elle est aussi la mesure de la résistance à une altération permanente, quand on l'emploie dans les cas où les flèches sont sans danger et sans inconvénient.

Mon objet, en composant ce petit Traité, a été de fournir aux personnes qui s'occupent de la pratique, des moyens commodes et tout préparés d'assigner les dimensions des barres de fonte, des colonnes, etc., destinées à être soumises à des pressions connues, ou à porter des mouvemens de machines. Je suis persuadé que son peu de volume et son utilité lui feront trouver place parmi les livres qu'on consulte ordinairement, et qui sont plus ou moins nécessaires aux architectes, aux ingénieurs et aux entrepreneurs de bâtimens. Afin de le rendre portatif, j'ai arrangé les tables de manière qu'elles renfermassent autant d'applications distinctes que la nature du sujet m'a semblé pouvoir en admettre.

Quelques observations sur l'usage des tables.

2. Le poids de la pièce de fonte doit toujours

être évalué et ajouté à la charge qu'elle doit porter ; ou bien (attendu que cette méthode exige qu'on évalue le poids avant que le volume soit déterminé) il faut trouver les dimensions de la pièce capable de supporter la charge au moyen d'une des tables, et augmenter la largeur dans la même proportion que le poids de la pièce augmente la charge. Si, par exemple, le poids de la pièce est la huitième partie de la charge, alors à la largeur que donne la table ajoutez un huitième de cette largeur, et ainsi de toute autre proportion. Cette méthode n'est pas tout-à-fait rigoureuse, mais elle est simple et d'une exactitude suffisante pour la pratique.

3. Les tables et les règles sont calculées pour la fonte douce, de couleur grise. Le métal de cette espèce cède aisément à la lime quand la croûte extérieure est enlevée; il est légèrement malléable à froid. Le docteur C. Hutton a donné avec raison la préférence à cette sorte de fer, parce qu'il est moins sujet à être cassé par un choc que la fonte dure (1).

La fonte blanche est moins sujette que la grise à être détruite par la rouille; elle est aussi moins

---

(1) Tracts, vol. I, p. 141.

soluble dans les acides. Il est donc avantageux de l'employer quand la dureté est nécessaire, et que sa fragilité est sans inconvénient ; mais il ne faut pas s'en servir pour les cas qui exigent de la force. Quand elle est coulée doucement, elle fait d'excellens supports pour recevoir les pivots ; elle est de très longue durée, n'ayant que fort peu de frottement.

La cassure récente de la fonte blanche a une apparence blanche et rayonnée, indiquant une structure cristalline. Cette fonte est très dure et très fragile.

La cassure de la fonte grise est grenue, de couleur grise, avec un peu de brillant métallique : cette fonte est beaucoup plus douce et bien moins fragile que la blanche.

Mais entre ces deux espèces il existe plusieurs variétés de fontes qui présentent des nuances diverses de leurs qualités ; les meilleures sont celles qui se rapprochent davantage de la fonte grise.

La fonte grise sert pour l'artillerie, et on la désigne quelquefois sous le nom de *métal à canon.*

La meilleure manière et la plus certaine de s'assurer de la qualité d'une pièce de fonte, est d'en faire l'épreuve sur un bord avec un marteau. Si le coup de marteau fait une légère im-

pression qui indique un certain degré de malléabilité, le fer est de bonne qualité, pourvu qu'il soit uniforme; s'il se détache des fragmens, et que le marteau n'ait pas laissé d'impression sensible, le fer sera dur et cassant.

On doit avoir la plus grande attention à rendre uniforme la qualité du fer de chaque coulée, attendu que, dans un fer de différentes qualités, le retrait est différent; ce qui occasionne une tension inégale dans les parties du métal, diminue sa force, et le rend sujet à manquer tout d'un coup et au moment où l'on ne s'y attend pas. Quand les parties ne sont pas uniformes, la surface de la fonte est ordinairement inégale lorsqu'elle devrait être unie. Cette inégalité, ces élévations, ces vides irréguliers à la surface de la fonte, sont occasionnés par le retrait inégal des différentes qualités du fer. Je dois à un fondeur très intelligent et très versé dans son art, la connaissance de cette indication d'une fonte imparfaite.

Maintenant, si l'on veut obtenir du fer d'une qualité particulière par le mélange de différentes espèces, il doit être difficile que ce mélange soit assez complet pour rendre le produit parfaitement uniforme; ceci nous découvre une des causes qui font que la recuisson ajoute à la

qualité du fer. En effet, en passant lentement à l'état solide, les parties ont plus de facilité pour s'ajuster de manière à égaliser, sinon à neutraliser, la tension produite par le retrait. Mais il est clair que la chaleur qu'exige cette opération, étant appliquée après que le métal a déjà acquis sa solidité, doit être assez intense pour pouvoir, jusqu'à un degré très considérable, détruire la force de cohésion; autrement l'amélioration serait peu sensible (1). Ces remarques s'appliquent au verre et aux différens métaux, aussi bien qu'à la fonte de fer.

On a fait l'observation que « le fer varie dans sa force, non-seulement lorsqu'il provient de différens fourneaux, mais même lorsqu'il sort du même fourneau et de la même fonte; mais cela paraît tenir à quelque vice dans la manière dont l'opération a été faite, et en général le fer est beaucoup plus uniforme que le bois (2). » J'éprouve une vraie satisfaction en voyant ma

---

(1) Le Dr Brewster a fait voir que la condition mécanique du verre non recuit ne saurait être altérée par la chaleur de l'eau bouillante. (Edimb. Phil. Jour., vol. II, p. 399.)

(2) Banks on the power of machines, p. 73. *Voy.* aussi p. 94 du même ouvrage.

propre expérience appuyée par l'opinion d'un homme aussi avantageusement connu des gens de l'art que l'est M. Banks. Mais on sait très bien maintenant en Angleterre quels poids considérables de grandes masses de bonne fonte peuvent porter, lorsqu'on les emploie pour résister aux plus grands efforts, dans les diverses machines. La valeur de ce métal avait été reconune par notre célèbre compatriote Smeaton, dès son début dans la pratique. Il y a déjà plus de quarante ans qu'il attaquait les préjugés contraires dans les termes suivans : « Si la longueur du temps qu'ont servi ces ustensiles (de fonte) n'est pas regardée comme suffisante, j'ajouterai que, dès l'année 1755, c'est-à-dire, il y a vingt-sept ans, pour la première fois, je les ai employés comme objets tout-à-fait nouveaux. Le cri général fut alors : Si les bois les plus forts ne peuvent pas résister pendant très long-temps à l'action d'une grande puissance, que n'a-t-on pas à craindre de la fragilité de la fonte ? Il suffit de dire que non-seulement ces mêmes pièces de fonte servent encore, mais que leur effet avantageux en a fait généralement adopter l'usage dans le nord de l'Angleterre, où elles ont été d'abord employées ; et je n'ai pas en-

core entendu dire qu'une seule ait manqué (1). Ces remarques ont été écrites en 1782, et l'opinion favorable de Smeaton a été complètement justifiée par l'expérience des ingénieurs qui l'ont suivie; les grands travaux de tout genre exécutés par Wilson, Rennie, Boulton et Watt, Telford, etc., la confirment amplement (2).

Je dois cependant avertir que la fonte qui vient à manquer n'en donne d'avance aucun indice; c'est là son grand défaut quand on l'emploie à porter des poids ou des mouvemens de machines; il faut donc avoir soin de lui donner une force suffisante. Il est évident, d'après les

---

(1) Reports, vol. I, p. 410 et 411.

(2) Une des entreprises les plus hardies qu'on ait faites avec une nouvelle matière, a été l'application de la fonte à la construction des ponts. Feu Thomas Farnolls Pritchard, architecte, de Eyton Turret, dans le Shropshire, paraît en avoir eu la première idée, et avoir suggéré à M. John Wilkinson, maître de forges à Brosely et à Castlehead, la possibilité de construire des arches de fer assez larges pour laisser le passage aux eaux de la Saverne, rivière très sujette à se déborder. M. Wilkinson ayant mûri cette idée, la mit enfin à exécution entre Madely et Brosley, où il construisit le célèbre pont de fer de Colebrook Dale, le premier de cette espèce en Angleterre, et vraisemblablement dans le monde entier. La conduite des

remarques qui précèdent, que cette force dépend beaucoup de l'expérience et de l'habileté du fondeur.

4. Toute la matière fondue à la fois, doit être retirée en portions qui aient autant que possible à peu près le même volume, afin qu'elles puissent toutes se refroidir au même degré.

Il faut avoir grand soin d'empêcher qu'il ne reste des bulles d'air dans la fonte ; plus elle mettra de temps à se refroidir et mieux elle vaudra, parce que le fer sera plus compacte que si son refroidissement avait été rapide. Un refroidissement lent remplit le même but que la recuisson.

En exécutant les moules pour la fonte, on doit leur donner un huitième de pouce de plus par pied, à cause du retrait que prend le mé-

---

travaux fut faite par M. Daniell Onions, qui changea quelque chose au plan de M. Pritchard; et les dépenses furent payées par M. Darby et M. Reynold, propriétaires des forges de Colebrook Dale. M. Pritchard est mort en 1777; il a laissé divers plans ingénieux pour faire voir comment on peut construire des arches de pierres ou de briques avec des cintres de fonte, de manière que ces cintres forment une partie permanente des arches. Ces plans sont aujourd'hui la propriété d'un de ses petits-fils, M. John White, à qui je suis redevable des détails contenus dans cette note.

tal en refroidissant. Certains moules demandent aussi à être légèrement élargis par le haut pour qu'on puisse les retirer du sable sans altérer la pièce moulée. Un sixième de pouce environ, sur six pouces, est une quantité suffisante pour cet objet.

On a indiqué dans les notes, au bas de chaque table, la manière d'appliquer ces tables à d'autres matériaux, ce qui aura l'avantage de faire connaître la force relative de différens corps employés pour le même objet, et de déterminer les proportions de ces matériaux pour porter un poids donné.

TABL

5. *Table de l'épaisseur des pièces carrées en fonte de différentes lo*
poids, jusqu'à 1,120,000 *liv., lorsque les pièces portent sur des*
prendre de flèche de plus d'un quarantième de pouce par chaque p

Long. en m. Long. en pi.	1,22 4	1,82 6	2,44 8	3,05 10	3,54 12	4,26 14	4,87 16	5,48 18	6,09 20	6,7 22
Livres, avoir du poids.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc	Epaiss. en pouce.	Epais en po
112	1,2	1,4	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7
224	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3
336	1,6	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,6
448	1,7	2,0	2,4	2,6	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
560	1,8	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
672	1,8	2,2	2,6	2,9	3,2	3,4	3,7	3,9	4,1	4,3
784	1,9	2,3	2,7	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,2	4,4
896	2,0	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4	4,6
1008	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,7
1120	2,1	2,6	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7	4,9
1232	2,1	2,6	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	4,5	4,8	5,0
1344	2,2	2,7	3,1	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	4,9	5,1
1456	2,2	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2
1568	2,3	2,8	3,2	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,0	5,3
1680	2,3	2,8	3,2	3,6	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,4
1792	2,4	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0	5,2	5,5
Flèche en po.	0,1	0,15	0,2	0,24	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,5
En millim.	2,53	3,79	5,06	6,31	7,58	8,85	10,12	11,38	12,65	12,6

OBSERVATION. Le poids de la charge doit comprendre celui de la pièce mêm par sa longueur en pieds et par 3,2. Le produit sera égal au poids en livres, av pèsera...... 4 + 20 + 32 = 265 livres avoir du poids.

REMIÈRE.

geurs et capables de supporter des poids depuis 112 *liv., avoir du puis aux deux extrémités et qu'elles sont chargées au milieu, sans de longueur. On s'est servi de la règle de l'art.* 217 *pour le calcul.*

7,28 24	7,91 26	8,82 28	9,14 30	9,74 32	10,36 34	10,68 36	11,57 38	12,18 40	
Epaiss. n pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pou.	Poids en kilogram.
2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	50,89
3,4	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	101,78
3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8	152,67
4,0	4,2	4,3	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,2	203,56
4,3	4,4	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,4	5,5	254,45
4,5	4,6	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4	5,6	5,8	305,34
4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,5	5,7	5,9	6,0	356,23
4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,7	5,9	6,0	6,2	407,12
4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,0	6,2	6,4	458,01
5,2	5,3	5,4	5,7	5,9	6,0	6,2	6,4	6,5	508,93
5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5	6,7	559,82
5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7	6,8	610,68
5,4	5,6	5,9	6,0	6,2	6,5	6,6	6,8	7,0	661,60
5,6	5,7	6,0	6,1	6,4	6,6	6,7	6,9	7,1	712,46
5,6	5,8	6,1	6,2	6,5	6,7	6,8	7,0	7,2	763,35
5,7	5,9	6,2	6,4	6,6	6,8	6,9	7,2	7,4	814,24
0,6 5,17	0,65 16,43	0,7 37,70	0,75 18,94	0,8 20,12	0,85 21,38	0,9 22,64	0,95 32,90	1,0 25,3	

our trouver le poids d'un barreau, il faut multiplier l'aire de la section en pouces poids; ainsi un barreau de 2 pouces d'équarissage et de 20 pieds de longueur

SUITE DE LA

Résistance des barreaux carrés

Long. en mè.	1,22	1,82	2,44	3,05	3,64	4,26	4,87	5,48	6,09	6,70
Long. en pi.	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Livres, avoir du poids.	Épaiss. en pou.	Épaiss. en pou.	Épaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pouce.	Epaiss en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces
1904	2,4	2,9	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5
2016	2,4	3,0	3,4	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,6
2128	2,5	3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,4	5,7
2240	2,5	3,0	3,5	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8
2800	2,6	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1
3360	2,8	3,4	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,8	6,1	6,4
3920	2,9	3,5	4,0	4,5	4,9	5,3	5,7	6,0	6,3	6,7
4480	2,9	3,5	4,1	4,7	5,1	5,5	5,9	6,2	6,5	6,8
5600	3,1	3,8	4,4	4,9	5,5	5,8	6,2	6,6	6,9	7,3
6720	3,3	4,0	4,6	5,1	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,6
7840	3,4	4,1	4,8	5,3	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9
8960	3,5	4,3	4,9	5,5	6,0	6,5	7,0	7,4	7,8	8,2
10080	3,6	4,4	5,1	5,7	6,2	6,7	7,2	7,6	8,0	8,4
11200	3,7	4,5	5,2	5,8	6,4	6,9	7,4	7,8	8,2	8,6
13440	3,9	4,7	5,5	6,1	6,7	7,2	7,7	8,2	8,6	9,0
15680	4,0	4,9	5,7	6,3	6,9	7,5	8,0	8,5	8,9	9,4
Flèche en po.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
en millim.	2,53	3,79	5,06	6,31	7,58	8,85	10,12	11,38	12,65	13,9

Observation. Si l'on multiplie l'épaisseur d'une barre de fonte par 0,937, le pr
Si l'on multiplie par 1,83 l'épaisseur d'une barre de fonte, le produit sera égal
Enfin, en multipliant par 1,71 l'épaisseur d'une barre de fonte, le produit ser

TABLE PREMIÈRE.

de fonte à la pression latérale.

7,28 24	7,91 26	8,82 28	9,14 30	9,74 32	10,36 34	10,86 36	11,57 38	12,18 40	
Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pouces	Epaiss. en pou.	Poids en kilogram.
5,8	6,0	6,2	6,6	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	865,13
5,9	6,1	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	916,02
6,0	6,2	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	966,91
6,0	6,3	6,5	6,8	7,0	7,2	7,4	7,5	7,8	1017,86
6,4	6,6	6,9	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	1272,32
6,7	7,0	7,2	7,5	7,7	8,0	8,2	8,4	8,6	1526,79
6,9	7,2	7,5	7,7	8,0	8,2	8,5	8,7	8,9	1781,25
7,2	7,6	7,7	8,0	8,3	8,5	8,7	9,0	9,2	2035,72
7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,0	9,3	9,6	9,8	2544,65
7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,4	9,7	10,0	10,1	3053,4
8,2	8,6	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,6	3562,3
8,5	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	4071,2
8,8	9,1	9,5	9,8	10,1	10,4	10,8	11,0	11,4	4580,1
9,0	9,4	9,7	10,1	10,4	10,7	11,0	11,2	11,6	5089,3
9,4	9,8	10,2	10,5	10,9	11,2	11,5	11,9	12,1	6106,8
9,8	10,2	10,6	11,0	11,3	11,7	12,0	12,3	12,7	7124,6
0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	
15,17	16,43	27,70	15,96	20,12	21,38	22,64	23,90	25,3	

duit sera égal à l'épaisseur d'une barre de fer propre à résister à la même pression latérale.
l'épaisseur d'une pièce de chêne de même résistance.
égal à l'épaisseur d'une pièce de sapin de même résistance que la barre.

SUITE DE LA

Résistance des barreaux carrés

Long. en mè. / Long. en pi.	1,22 4	1,82 6	2,44 8	3,05 10	3,64 12	4,26 14	4,87 16	5,48 18	6,09 20	6,70 22
Livres, avoir du poids.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.
17920	....	5,1	5,9	6,6	7,2	7,8	8,3	8,8	9,3	9,7
20160	....	5,2	6,0	6,8	7,4	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
22400	....	5,3	6,2	6,9	7,6	8,2	8,8	9,3	9,8	10,3
24640	....	5,5	6,4	7,1	7,8	8,4	9,0	9,5	10,0	10,5
26880	....	5,6	6,5	7,2	7,9	8,6	9,2	9,7	10,2	10,8
29120	....	5,7	6,6	7,4	8,1	8,8	9,4	9,9	10,4	11,0
31360	....	5,8	6,8	7,5	8,3	8,9	9,5	10,1	10,6	11,1
33600	....	6,0	6,9	7,7	8,4	9,1	9,7	10,3	10,8	11,4
35840	....	....	7,0	7,8	8,5	9,2	9,8	10,4	11,0	11,5
38080	....	....	7,1	7,9	8,7	9,4	10,0	10,6	11,2	11,7
40320	....	....	7,2	8,0	8,8	9,5	10,1	10,8	11,3	11,9
42560	....	....	7,3	8,1	8,9	9,6	10,3	10,9	11,5	12,0
44800	....	....	7,4	8,2	9,0	9,7	10,4	11,0	11,6	12,2
49280	....	....	7,5	8,4	9,2	10,0	10,7	11,3	11,9	12,5
53760	....	....	7,7	8,6	9,4	10,2	10,9	11,5	12,2	12,8
58240	....	....	7,9	8,8	9,6	10,4	11,1	11,8	12,4	13,0
62720	....	....	8,0	8,9	9,8	10,6	11,4	12,0	12,7	13,3
67200	....	....	....	9,1	10,0	10,8	11,5	12,2	12,9	13,5
71680	....	....	....	9,3	10,2	11,0	11,7	12,4	13,1	13,7
76160	....	....	....	9,4	10,3	11,1	11,9	12,6	13,3	13,9
Flèche en po.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
En millim.	2,53	3,79	5,06	6,31	7,58	8,85	10,12	11,38	12,65	13,91

TABLE PREMIÈRE.

de fonte à la pression latérale.

7,28 24	7,91 26	8,42 28	9,14 30	9,74 32	10,36 34	10,96 36	11,57 38	12,18 40	
Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Poids en kil am.
10,1	10,6	10,9	11,3	11,7	12,0	12,4	12,8	13,1	8142,4
10,4	10,9	11,3	11,7	12,0	12,4	12,8	13,1	13,5	9160,2
10,7	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,1	13,5	13,8	10178,6
11,0	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2	11196,4
11,2	11,7	12,1	12,5	13,0	13,4	13,7	14,1	14,5	12213,6
11,5	11,9	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,7	13232,0
11,7	12,1	12,6	13,0	13,4	13,8	14,2	14,6	15,0	14229,2
11,9	12,3	12,8	13,2	13,7	14,1	14,5	14,9	15,3	15267,9
12,0	12,5	13,0	13,5	13,9	14,3	14,7	15,1	15,5	16284,8
12,2	12,7	13,2	13,7	14,1	14,5	14,9	15,4	15,8	17302,6
12,4	12,9	13,4	13,9	14,3	14,7	15,1	15,6	16,0	18320,4
12,6	13,1	13,6	14,1	14,5	15,0	15,4	15,8	16,2	19338,2
12,7	13,2	13,8	14,2	14,7	15,1	15,6	16,0	16,4	20357,2
13,0	13,6	14,1	14,6	15,1	15,5	15,9	16,4	16,8	22392,8
13,4	13,9	14,4	14,9	15,4	15,9	16,3	16,8	17,2	24427,2
13,6	14,2	14,7	15,2	15,7	16,2	16,7	17,1	17,6	26464,0
13,9	14,4	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,4	17,9	28458,4
14,1	14,7	15,2	15,7	16,3	16,8	17,3	17,7	18,2	30535,8
14,3	14,9	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	32569,6
14,5	15,1	15,7	16,2	16,8	17,3	17,8	18,3	18,8	34605,2
0,6 15,17	0,65 16,43	0,7 17,70	0,75 18,96	0,8 20,12	0,85 21,38	0,9 22,64	0,95 23,90	1,0 25,3	

SUITE DE LA

Résistance des barreaux carrés

Long. en mè.	1,22	1,82	2,44	3,05	3,64	4,26	4,87	5,48	6,09	6,70
Long. en pi.	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Poids en liv. v. du poids.				Epaiss en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pou.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.
80640	....	....	....	9,5	10,4	11,3	12,0	12,8	13,4	14,1
85120	....	....	....	9,7	10,6	11,4	12,2	13,0	13,6	14,3
89600	....	....	....	9,8	10,7	11,6	12,4	13,1	13,8	14,5
94080	....	....	....	9,9	10,9	11,7	12,5	13,3	14,0	14,7
98560	....	....	....	10,0	11,0	11,9	12,7	13,5	14,2	14,9
103040	....	....	....	....	11,1	12,0	12,8	13,6	14,3	15,0
107520	....	....	....	....	11,2	12,1	13,0	13,7	14,5	15,2
112000	....	....	....	....	11,3	12,2	13,1	13,9	14,6	15,3
116480	....	....	....	....	11,5	12,4	13,2	14,0	14,7	15,5
120960	....	....	....	....	11,6	12,5	13,3	14,1	14,9	15,6
125440	....	....	....	....	11,7	12,6	13,5	14,3	15,0	15,8
129920	....	....	....	....	11,8	12,7	13,6	14,4	15,1	15,9
134400	....	....	....	....	11,9	12,8	13,7	14,5	15,3	16,0
145600	....	....	....	....	....	13,1	14,0	14,8	15,6	16,4
156800	....	....	....	....	....	13,3	14,3	15,1	15,9	16,7
168000	....	....	....	....	....	13,6	14,5	15,4	16,2	17,0
179200	....	....	....	....	....	13,8	14,7	15,6	16,4	17,2
190400	....	....	....	....	....	14,0	14,9	15,8	16,7	17,5
201600	....	....	....	....	....	....	15,2	16,1	16,9	17,8
212800	....	....	....	....	....	....	15,4	16,3	17,2	18,0
Flèche en po.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
En millim.	2,53	3,79	5,06	6,31	7,58	8,85	10,12	11,38	12,65	13,91

TABLE PREMIÈRE.

de fonte à la pression latérale.

7,28 24	7,91 26	8,52 28	9,14 30	9,74 32	10,36 34	10,96 36	11,57 38	12,18 40	
Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pou	Poids en kilogram.
14,7	15,3	15,9	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	36640,8
14,9	15,5	16,1	16,7	17,2	17,8	18,3	18,8	19,3	38676,4
15,1	15,7	16,4	16,9	17,5	18,0	18,5	19,1	19,5	40714,4
15,3	15,9	16,5	17,1	17,7	18,2	18,7	19,3	19,8	42687,6
15,5	16,1	16,8	17,4	17,9	18,5	19,0	19,5	20,0	44785,6
15,7	16,3	17,0	17,6	18,1	18,7	19,2	19,8	20,3	46821,3
15,9	16,5	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4	20,0	20,5	48854,4
16,0	16,6	17,3	17,9	18,5	19,0	19,6	20,1	20,7	50893
16,2	16,8	17,5	18,1	18,7	19,2	19,8	20,3	21,0	52928
16,3	17,0	17,6	18,2	18,8	19,4	19,9	20,5	21,1	54963,7
16,5	17,1	17,8	18,4	19,0	19,6	20,1	20,7	21,3	56916,8
16,6	17,3	17,9	18,5	19,2	19,7	20,3	20,9	21,4	58952,5
16,7	17,4	18,1	18,7	19,3	19,9	20,5	21,1	21,6	61068
17,1	17,8	18,5	19,1	19,8	20,4	20,9	21,5	22,1	66160
17,4	18,2	18,8	19,5	20,1	20,8	21,3	22,0	22,5	71246
17,7	18,5	19,2	19,8	20,5	21,3	21,7	22,3	22,9	76335
18,0	18,7	19,4	20,1	20,7	21,4	22,0	22,6	23,2	81428,8
18,3	19,0	19,7	20,4	21,0	21,7	22,4	23,0	23,6	86513
18,6	19,3	20,0	20,7	21,4	22,1	22,7	23,3	23,9	91602
18,8	19,5	20,3	21,0	21,7	22,4	23,0	23,6	24,3	96691
0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	
15,17	16,40	17,70	18,96	20,12	21,38	22,64	23,90	25,3	

FIN DE LA

Résistance des barreaux carrés

Long. en mè.	1,22	1,82	2,44	3,05	3,64	4,26	4,87	5,48	6,09	6,70
Long. en pi.	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Poids en liv. av. du poids.							Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.
224000	....	....	....	....	....	....	15,6	16,5	17,4	18,2
246400	....	....	....	....	....	....	15,9	16,8	17,8	18,7
268800	....	....	....	....	....	....	....	17,2	18,2	19,1
291200	....	....	....	....	....	....	....	17,7	18,6	19,5
313600	....	....	....	....	....	....	....	17,9	19,0	19,9
336000	....	....	....	....	....	....	....	....	19,3	20,2
358400	....	....	....	....	....	....	....	....	19,6	20,5
380800	....	....	....	....	....	....	....	....	19,9	20,8
403200	....	....	....	....	....	....	....	....	....	21,1
425600	....	....	....	....	....	....	....	....	....	21,5
448000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	21,7
560000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
672000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
784000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
896000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
1008000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
1120000	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Flèche en po.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
En millim.	2,53	3,79	5,06	6,31	7,58	8,85	10,12	11,38	12,65	13,91

Observation. Pour réduire en parties du mètre les épaisseurs portées en pouces suffisamment approchée en millimètres. Si l'on voulait plus d'exactitude, il faudrait différence pour l'épaisseur la plus forte du tableau, celle de 36,7 pouces, ne serait

TABLE PREMIÈRE.

e fonte à la pression latérale.

7,28 24	7,91 26	8,52 28	9,14 30	9,74 32	10,36 34	10,96 36	11,57 38	12,18 40	
Epaiss. n pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pouc.	Epaiss. en pou.	Poids en kilogram.
19,0	19,8	20,6	21,3	22,0	22,6	23,3	23,9	24,5	101786
19,5	20,3	21,0	21,8	22,5	23,2	23,8	24,5	25,1	111964
19,9	20,8	21,5	22,3	23,0	23,7	24,4	25,0	25,7	122136
20,4	21,3	22,0	22,7	23,5	24,2	24,9	25,5	26,3	132320
20,8	22,7	22,5	23,2	23,9	24,6	25,4	26,0	26,7	142292
21,1	22,0	22,8	23,6	24,3	25,0	25,8	26,5	27,2	152679
21,5	22,3	23,1	23,9	24,7	25,5	26,2	26,9	27,6	162848
21,8	22,6	23,5	24,3	25,1	25,9	26,6	27,4	28,1	173026
22,1	23,0	23,9	24,7	25,5	26,3	27,0	27,8	28,5	183204
22,4	23,3	24,2	25,0	25,9	26,7	27,4	28,2	28,9	193382
22,7	23,6	24,5	25,3	26,2	27,0	27,7	28,5	29,2	203572
23,9	24,9	25,9	26,8	27,6	28,5	29,4	30,1	31,0	254465
....	26,0	27,1	28,0	28,9	29,9	30,7	31,5	32,0	305340
....	.....	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	33,7	356230
....	.....	.....	30,0	31,1	32,0	32,9	33,9	34,7	407120
....	.....	.....	.....	32,0	33,1	34,0	34,8	35,8	458010
....	.....	.....	.....	.....	33,8	34,8	35,7	36,7	508930
0,6 15,17	0,65 16,40	0,7 17,70	0,75 18,96	0,8 20,12	0,85 21,38	0,9 22,64	0,95 23,90	1,0 25,3	

lans cette table, on multipliera ces épaisseurs par 25,4, ce qui donnera leur valeur
nultiplier par 25,3999. Cette précision serait tout-à-fait inutile dans la pratique; la
as d'un centième de millimètre.

TABL

6. *Cette Table indique le poids ou la pression à laquelle peut résiste*
perdre sa force d'élasticité, quand elle est appuyée aux extrémité
que le poids peut produire au milieu. Le calcul a été fait ave

Long. Long.	0,3047 mètre. 1 pied.		0,609 mètre. 2 pieds.		0,914 mètre. 3 pieds.		1,1219 mètre. 4 pieds.		1,52 mètre. 5 pieds.	
Epaisseur.	Poids, livres, av. du poids.	inflex. en pouces.	Poids en livr.	inflex. en pouces.	Poids en livr.	inflex. en pouces.	Poids en livr.	inflex. en pouces.	Poids en livr.	inflex. e pouces.
1	850	0,02	425	0,08	283	0,18	212	0,32	170	0,5
1,5	1912	0,014	956	0,053	637	0,12	477	0,21	383	0,33
2	....	.....	1700	0,04	1132	0,09	848	0,16	680	0,25
2,5	....	.....	2656	0,032	1769	0,072	1325	0,126	1062	0,2
3	....	.....	....	.....	2547	0,06	1908	0,11	1530	0,167
3,5	....	.....	....	.....	3467	0,052	2597	0,092	2082	0,143
4	....	.....	....	.....	....	.....	3392	0,08	2720	0,125
4,5	....	.....	....	.....	....	.....	4293	0,071	3442	0,11
5	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	4250	0,1
6	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	6120	0,083
7	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
8	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
9	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
10	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
11	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
12	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
13	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....
14	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....	....	.....

Observation. Les poids indiqués dans cette Table sont les plus considérabl
attention de faire la part des accidens, et de faire entrer le poids de la pièce. O
mière Table.

On réduira facilement les livres avoir du poids en kilogrammes, en les divisan

une barre de fer de fonte d'un pouce (25,4 mill.) de largeur, sans et chargée au milieu de sa longueur; elle fait voir ausi la courbure l'équation de l'art. 106.

,82 mètre. 6 pieds.		2,13 mètres. 7 pieds.		2,24 mètres. 8 pieds.		2,73 mètres. 9 pieds.		3,04 mètres. 10 pieds.		
ids livr.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Ép. en pouces
142	0,72	121	0 98	106	1,28	95	1,62	85	2,0	1
320	0,48	273	0,65	239	0,85	214	1,08	192	1,34	1,5
568	0,36	484	0,49	425	0,64	380	0 81	340	1,0	2
887	0,29	756	0,39	662	0,51	594	0,65	531	0,8	2,5
278	0,24	1089	0,33	954	0,426	855	0,54	765	0,66	3
739	0,205	1482	0,28	1298	0,365	1164	0,46	1041	0,57	3,5
272	0,18	1936	0,245	1700	0,32	1520	0,405	1360	0,5	4
875	0,16	2450	0,217	2146	0,284	1924	0,36	1721	0,443	4,5
560	0,144	3050	0,196	2650	0,256	2375	0,32	2125	0,4	5
112	0,12	4356	0,163	3816	0,213	3420	0,27	3060	0,33	6
958	0,103	5929	0,14	5194	0,183	4655	0,23	4165	0,29	7
088	0,09	7744	0.123	6784	0,16	6080	0,203	5440	0,25	8
...	.....	9801	0,109	8586	0,142	7695	0,18	6885	0 22	9
...	.....	12100	0,098	10600	0,128	9500	0,162	8500	0,2	10
...	.....	....	.....	12826	0,117	11495	0,15	10285	0,182	11
...	.....	.....	.....	15264	0,107	13680	0,135	12240	0,17	12
...	.....	.....	.....	.....	.....	16100	0,125	14400	0,154	13
...	.....	.....	.....	.....	.....	18600	0,115	16700	0,143	14

u'une pièce de fonte soit capable de porter; ainsi, dans le calcul, il faut avoir oids se calculera facilement par la règle donnée dans les observations de la pre-

ar 2,2.

SUITE DE L

De la force des bar

Long.	12 pieds.		14 pieds.		16 pieds		18 pieds.		20 pieds.	
Épais en pouc.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.
2	283	1,44	243	1,96	212	2,56	189	3,24	170	4,0
3	637	0,96	546	1,31	478	1,71	425	2,16	382	2,67
4	1133	0,72	971	0,98	849	1,28	755	1,62	680	2,08
5	1771	0,58	1518	0,78	1328	1,02	1180	1,29	1062	1,6
6	2548	0,48	2184	0,65	1912	0,85	1699	1,08	1530	1,34
7	3471	0,41	2975	0,58	2603	0,73	2314	0,93	2082	1,14
8	4532	0,36	3884	0,49	3396	0.64	3020	0,81	2720	1,00
9	5733	0,32	4914	0,44	4302	0,57	3825	0,72	3438	0 89
10	7083	0,288	6071	0,392	5312	0,512	4722	0,648	4250	0,8
11	8570	0,26	7346	0,36	6428	0,47	5714	0,59	5142	0,73
12	10192	0,24	8736	0,33	7648	0,43	9796	0,54	6120	0,67
13	11971	0,22	10260	0,307	8978	0,39	7980	0,49	7182	0,61
14	13883	0,21	11900	0,28	10412	0,36	9255	0,46	8330	0,57
15	15937	0,19	13660	0,26	11952	0,34	10624	0,43	9562	0,53
16	18128	0,18	15536	0,245	13584	0,32	12080	0,403	10880	0,5
17	20500	0,17	17500	0,23	15353	0,3	13647	0,38	12282	0,47
18	22932	0,16	19656	0,217	17208	0,284	15700	0,36	13752	0,44
19	25404	0,152	21800	0,207	19053	0,27	16935	0,34	15242	0,42
20	28332	0,144	24284	0,196	21248	0,25	18888	0,324	17000	0,4
21	31230	0,138	26770	0,186	23428	0,245	20825	0,31	18742	0,38
22	34500	0,131	29300	0,178	25712	0,235	22855	0,295	20570	0,36
23	37600	0,127	32000	0,17	28103	0,225	24980	0,282	22482	0,35
24	40768	0,12	34944	0,163	30592	0,216	27184	0,27	24880	0,33
25	.....	.....	37700	0,156	33203	0,211	29514	0,245	26562	0,32
26	.....	.....	40900	0,15	35912	0,197	31922	0,235	28730	0,30
27	.....	.....	44000	0,143	38728	0,195	34425	0,225	30982	0,29

ABLE II.

fer de fonte.

22 pieds.		24 pieds.		26 pieds.		28 pieds.		30 pieds.		
oids livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres
154	4,84	142	5,76	131	6,76	121	7,84	113	9,0	2
347	3,23	318	3,84	294	4,51	273	5,23	255	6,0	3
618	2,42	566	2,88	523	3,38	485	3,92	453	4,5	4
966	1,93	885	2,30	817	2,70	759	3,14	708	3,6	5
1390	1,61	1274	1,92	1176	2,25	1092	2,61	1019	3,0	6
1893	1,38	1735	1,65	1602	1,93	1487	2,24	1388	2,57	7
2472	1,21	2264	1,44	2092	1,69	1940	1,96	1812	2,25	8
3123	1,07	2862	1,28	2646	1,50	2457	1,74	2295	2,0	9
3863	0,968	3541	1,152	3269	1,352	3035	1,568	2833	1,8	10
4675	0,88	4285	1,05	3955	1,23	3673	1,425	3428	1,64	11
5560	0,81	5096	0,96	4704	1,13	4368	1,31	4076	1,5	12
6529	0,74	5985	0,886	5525	1,04	5130	1,21	4788	1,38	13
7573	0,69	6941	0,824	6048	0,965	5950	1,12	5553	1,28	14
8692	0,645	7967	0,75	7355	0,9	6829	1,03	6374	1,2	15
9888	0,63	9056	0,72	8368	c,84	7760	0,98	7248	1,13	16
1166	0,567	10325	0,673	9449	0,79	8773	0,92	8188	1,06	17
2492	0,54	11448	0,64	10584	0,75	9828	0,87	9180	1,0	18
3857	0,51	12702	0,607	11725	0,71	10887	0,825	10161	0,95	19
5452	0,484	14164	0,576	13076	0,676	12140	0,784	11332	0,9	20
7036	0,45	15618	0,55	14417	0,645	13387	0,75	12495	0,86	21
8700	0,44	17141	0,525	15823	0,615	14693	0,71	13713	0,815	22
0439	0,42	18735	0,5	17886	0,59	16059	0,68	14988	0,78	23
2210	0,402	20384	0,48	18816	0,565	17492	0,665	16304	0,75	24
4148	0,387	22135	0,46	20432	0,54	18973	0,625	17708	0,72	
6118	0,375	23941	0,443	22100	0,62	20521	0,607	19153	0,695	
8166	0,36	25819	0,427	23832	0,5	22130	0,58	20655	0,667	

FIN DE L

De la force des bar

Long. — Épais en pouc.		14 pieds.		16 pieds.		18 pieds.		20 pieds.	
		Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. en pouces.	Poids en livres.	infl. pouc
28	....	47300	0,14	41650	0,193	37022	0,216	33320	0,28
29	....	.....	.....	44678	0,176	39714	0,21	35742	0,27
30	....	.....	.....	47808	0,190	42498	0,197	38250	0,26
31	....	.....	.....	51053	0,164	45380	0,19	40842	0,25
32	....	.....	.....	54400	0,161	48371	0,183	43520	0,25
33	....	.....	.....	.....	.....	51425	0,176	46282	0,24
34	....	.....	.....	.....	.....	54586	0,170	49130	0,23
35	....	.....	.....	.....	.....	57847	0,164	52062	0,22
36	....	.....	.....	.....	.....	61200	0,16	55080	0,22

Observation. Si l'on multiplie par 1,12 le poids que peut porter une barre
dimension; et l'on aura la courbure de la barre de fer forgé, en multipliant p
La force du bon chêne est le quart de celle de la fonte; ainsi, une pièce
mension. On trouvera la courbure que prendrait le chêne en multipliant par 2,
Pour avoir le poids que peut porter une pièce de sapin jaune, multipliez p
courbure que cette pièce prendrait, multipliez par 2,6 celle que prendrait la piè
La Table peut également servir à trouver la force de toute autre matière dont
la fin de cet Essai.

BLE II.

r de fonte.

22 pieds.		24 pieds.		26 pieds.		28 pieds.		30 pieds.	
Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces.	Poids en livres.	inflex. en pouces
30290	0,347	27766	0.41	25630	0,48	23800	0,56	22213	0,645
32493	0,333	29785	0,395	27494	0,462	25530	0,54	23828	0,62
34767	0,322	31869	0,384	29421	0,450	27315	0,522	25497	0,60
37148	0,31	34035	0,37	31417	0,435	29173	0,505	27228	0,58
39563	0,302	36266	0,36	33477	0,42	31086	0,49	29013	0,56
42075	0,293	38568	0,35	35602	0,41	33058	0,47	30855	0,545
44663	0,283	40941	0,336	37792	0,395	35093	0,46	32753	0,53
47329	0,276	43385	0,329	40048	0,386	37187	0,448	34708	0,514
50073	0,269	45900	0,32	42369	0,375	39343	0,435	36720	0,5

, on aura pour produit le poids que porterait une barre de fer forgé de même
la courbure de la barre de fonte de même dimension.
portera le quart de la charge que porterait une pièce en fonte de même di-
de la fonte de même dimension.
celui que porterait une pièce de fonte de même dimension, et pour avoir la
nte.
aît la force relativement à celle de la fonte. *Voyez* la Table alphabétique à

TABL

6ª. *Cette table sert à trouver le poids ou la pression que peut soutenir u*
sont calculés en quintaux anglais égaux à 112 livres avoir du poids

Longueur ou hauteur en pieds anglais. Longueur en mètres.		2 0,609	4 1,219	6 1,828	8 2,438	10 3,047	12 3,656
Diamèt. en pouc. angl.	Diamètres en millimètres.	Poids en quint. metr.	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*
1	25,4	8,17	5,45	3,63	2,32	1,42	1,01
1,5	38,0	18,86	16,35	12,43	8,36	6,55	6,09
2	50,7	37,0	32,70	27,27	22,29	18,67	16,25
2,5	63,4	58,50	55	49	43	38	33
3	76,1	83	80	73	65	57	49
3,5	88,8	116	112	105	97	89	79
4	101,4	152	148	141	131	120	108
4,5	114,1	194	189	181	171	159	145
5	127,0	240	235	226	216	204	191
6	152,2	279	275	269	259	249	236
7	177,6	470	459	450	439	436	418
8	202,8	609	604	596	584	571	553
9	228,3	782	777	768	757	743	724
10	253,9	966	961	952	940	926	905
11	279,3	1168	1159	1150	1137	1123	1083
12	304,7	1393	1387	1382	1373	1351	1331

OBSERVATION. Cette table, calculée par l'équation 8, art. 244, étant très utile,
cause de la nature de l'équation à résoudre pour trouver le diamètre quand la lon-
français, dans la supposition qu'un quintal anglais égale 112 livres anglaises,
ne surpasse deux quintaux anglais que de 1,6 kilogrammes.

I I.

pilier cylindrique ou colonne de fonte, avec toute sûreté. Les poids on les a réduits dans la table en quintaux métriques.

14 4,266	16 4,876	18 5,484	20 6,095	22 6,704	24 7,313	
Id.	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*	Diamètres en millimètres
1,01	0,51	0,51	0,51	......	......	25,4
4,57	4,06	3,56	3,05	2,04	2,04	38,0
13,19	10,19	8,53	7,01	6,00	4,99	50,7
28	24	20	17	14	12	63,4
42	35	29	24	20	16	76,1
71	60	53	46	40	34	88,8
97	86	76	67	59	52	101,4
132	119	107	96	85	75	114,1
154	139	126	112	99	38	127,0
222	208	193	179	165	152	152,2
399	379	359	337	317	297	177,6
533	513	490	467	443	420	202,8
703	682	658	632	618	594	228,3
883	841	825	798	772	741	253,9
106	1048	1023	1013	983	950	279,3
1316	1281	1256	1241	1211	1176	304,7

devant épargner au calculateur le plus exercé, beaucoup de temps et de peine, à
ueur et le poids à supporter sont donnés, on l'a réduite en poids et en mesures
oir du poids, et équivaut à 50,8 kilogrammes, et qu'ainsi le quintal métrique

SECTION II.

EXPLICATION DES TABLES, ET EXEMPLES DE LEUR USAGE.

Explication de la Table Ire.

7. L'inspection de la première table (art. 5) fait connaître les dimensions que doivent avoir les barres carrées en fonte pour résister à des poids ou à des pressions, depuis un quintal jusqu'à cinq cents tonneaux, de manière à ce que l'inflexion mesurée au milieu de la barre ne soit pas de plus d'un quarantième de pouce pour chaque pied de longueur.

La longueur est la distance entre les appuis, comme AB *fig.* 1 ; et l'effort résultant d'un poids ou d'une pression, est supposé agir au milieu de la longueur, comme en C, *même fig.* La largeur et l'épaisseur sont supposées être les mêmes dans toutes les parties de la longueur, et être égales entre elles.

Les chiffres placés dans la première rangée horizontale indiquent en pieds la longueur des barres.

Les colonnes verticales aux extrémités, à droite et à gauche, marquent les poids en quintaux et en tonneaux ; la seconde colonne à gauche

donne ces mêmes poids réduits en kilogrammes.

La rangée horizontale de chiffres au bas des pages fait connaître l'inflexion qui répond à chaque longueur. Toutes les autres colonnes indiquent les épaisseurs en pouces.

Explication de la Table II.

8. L'objet de la seconde table (art. 6) est de faire connaître le plus fort poids qu'une barre de fonte peut supporter dans son milieu, de manière à ce qu'elle soit en état de reprendre sa première forme si l'on retire le poids. Une barre chargée d'un poids plus considérable que celui que la table indique éprouverait un dérangement dans l'équilibre de ses parties, et resterait constamment courbée, sans pouvoir reprendre sa forme naturelle. Dans une barre ainsi chargée au-delà de sa force, les flèches deviennent irrégulières et croissent très rapidement en raison de la surcharge.

Les chiffres de la rangée horizontale au haut de la table, marquent en pieds les longueurs, c'est-à-dire la distance entre les points d'appui.

Les colonnes verticales extérieures donnent les épaisseurs en pouces.

Les autres colonnes contiennent alternativement les poids en livres avoir du poids, et les

flèches que ces poids produiraient en pouces et en parties décimales du pouce, quand les barres n'ont exactement que la force nécessaire pour reprendre leur position naturelle.

La largeur de chaque barre est d'un pouce, par conséquent la table indique le poids le plus considérable que l'on doive faire porter à cette barre. Une barre qui aurait cinq pouces de largeur porterait cinq fois autant, et ainsi dans une proportion semblable pour toute autre largeur.

Explication de la Table III.

8ª. La troisième table (article 6) indique le poids ou la pression qu'un pilier ou une colonne cylindrique de fonte peut supporter avec sûreté. La pression est exprimée en quintaux métriques, et est calculée dans la supposition que le pilier se trouve placé dans les circonstances les plus défavorables pour lui résister, ce qui a lieu lorsque, par suite d'affaissemens, de placemens défectueux, ou de quelque autre cause, l'effort se trouve dirigé sur la surface du pilier, comme on le voit *fig.* 31.

La colonne horizontale au haut de la table contient les longueurs ou les hauteurs des piliers en pieds anglais; la colonne horizontale au-dessous indique ces longueurs en mètres.

Les colonnes verticales extérieures marquent en millimètres les diamètres des piliers.

Les autres colonnes verticales de cette table font connaître le poids en quintaux métriques, qu'un pilier de fonte, de la hauteur indiquée au haut de la colonne, et du diamètre marqué dans les colonnes verticales extérieures, peut supporter avec sûreté. Lors donc que deux de ces trois choses, savoir, la hauteur d'un pilier, son diamètre et le poids à supporter, seront données, la table fera toujours connaître la troisième.

Exemples et Usages des Tables.

9. *Exemple I*er. On demande quelle épaisseur doit avoir une barre de fonte carrée, de 20 pieds de longueur, pour être en état de porter dix tonneaux, sans que la flèche qu'elle prendra soit de plus d'un demi-pouce.

Cherchez, dans la table Ire, la colonne au haut de la table, qui indique 20 pieds de longueur, et dans la colonne verticale qui répond à ce nombre, vis-à-vis et sur la même ligne horizontale, où est écrit le nombre 10, dans les deux colonnes extérieures, vous trouverez le nombre 9,8 qui marque que la barre doit avoir neuf pouces et huit dixièmes d'épaisseur.

Si l'on multiplie par 1,71 cette épaisseur 9,8,

on aura l'épaisseur d'un solide carré de sapin, capable de potrer la même charge, avec la même inflexion. Ainsi l'épaisseur de cette solive serait $1,71 \times 9,8 = 16,76$ pouces à peu près.

Si l'on voulait savoir quelle épaisseur exigerait une solive en chêne, il faudrait multiplier par 1,83, ainsi $1,83 \times 9,8 = 17$ pouces 93 centièmes, épaisseur d'une solive en chêne capable de porter dix tonneaux.

10. *Exemple II.* On demande quel poids peut porter sans altérer sa force d'élasticité, une barre de fonte dont la longueur, la largeur et l'épaisseur sont connues.

Supposons la longueur de vingt pieds, et la largeur et l'épaisseur égales, et de dix pouces chacune. Dans la seconde table, descendant la colonne verticale, au haut de laquelle est indiquée la longueur de vingt pieds, on trouve vis-à-vis, le nombre 10, puis, dans la colonne extérieure, le nombre 4250; c'est le poids en livres que porterait une barre d'un pouce de large. Ce nombre multiplié par 10, donne 42500, ou environ 19 tonneaux; l'inflexion serait de 0,8 de pouce; mais le poids de cette barre elle-même serait d'environ trois tonneaux, et son effet serait le même que si la moitié de ce poids, ou un tonneau et demi, avait été placée sur le milieu de la

barre ; par conséquent, le plus grand poids qu'elle pourrait être en état de supporter ne devrait pas excéder dix-sept tonneaux et demi.

Une poutre en chêne de la même dimension ne porterait que le quart de 42500 livres, c'est-à-dire seulement 10625 livres, et son inflexion au milieu serait de $0,8 \times 2,8 = 2,24$ pouces.

Une poutre en sapin de la même dimension porterait trois dixièmes de 42500 l. ou 12750 l.; son inflexion au milieu serait de $0,8 \times 2,6 = 2,08$ pouc.

Une barre de fer forgé de même dimension porterait 1,12 de fois le poids déterminé pour la fonte, ou $42500 \times 1,12 = 47600$ livres; son inflexion au milieu serait $0,8 \times 0,86 = 0,688$ pouces. Mais le lecteur ne doit pas oublier que le fer forgé n'acquiert cette plus grande résistance qu'en passant sous le marteau ou dans les cylindres, et que quand l'épaisseur est considérable, ces opérations n'ont que très peu d'effet.

11. Il est des cas où l'inflexion peut sans inconvénient être plus considérable; il en est d'autres où il faut qu'elle le soit moins, mais je regarde celle d'après laquelle la première table est calculée, comme étant à peu près le terme moyen, et il est facile de faire à cet égard les changemens convenables.

Exemple III. On veut savoir quelle épais-

seur doit avoir une barre carrée en fonte, capable de porter dix tonneaux, sans s'infléchir de plus d'un dixième de pouce; la longueur de la barre étant de vingt pieds.

En cherchant au bas de la colonne qui répond à vingt pieds dans la première table, on trouve 0,5, ou cinq dixièmes de pouce d'inflexion. Alors, il faut multiplier par 5 le nombre des tonneaux qui est ici de 10, et chercher dans la colonne qui répond à vingt pieds, le nombre correspondant à 50 tonneaux. Ce nombre, 14,6 pouces, est l'épaisseur demandée.

12. *Exemple IV.* Trouver l'épaisseur d'une barre carrée en fonte, capable de porter dix tonneaux sans s'infléchir de plus d'un pouce; la longueur de la barre étant de vingt pieds.

Cette flèche est double de celle indiquée au bas de la colonne qui répond à vingt pieds de longueur dans la première table. Cherchez dans cette colonne le nombre qui se trouve vis-à-vis la moitié de dix tonneaux, ou cinq tonneaux.

Ce nombre est 8,2 pouces. C'est l'épaisseur demandée.

Dans chacun de ces exemples, j'ai pris la même longueur et le même poids, afin de montrer combien l'épaisseur doit être augmentée pour donner de la force.

13. Quand une barre ou une solive est destinée à supporter une charge au milieu ou dans tout autre point de sa longueur, on peut économiser une portion considérable de matière, en donnant à cette barre beaucoup d'épaisseur (1), et très peu de largeur, pourvu qu'elle ne soit pas tellement mince qu'elle soit exposée à se rompre par les côtés.

L'épaisseur d'une poutre se trouve quelquefois limitée par des circonstances ; et comme il est impossible d'établir des proportions qui puissent convenir à tous les cas, les personnes qui feront usage de ma table doivent alors se décider d'après leur propre jugement. Mais il est, relativement à l'épaisseur, une limite qui, si on la dépasse, rend l'emploi de la fonte très sujet à inconvénient et même très dangereux dans le cas où la charge, par une cause quelconque, viendrait à agir avec plus d'intensité. Car en augmentant l'épaisseur, on rend la barre plus raide, et presque inflexible, et alors une force d'impulsion comparativement peu considérable, suffit pour la rompre. Il en est d'une barre très

---

(1) Le mot épaisseur est toujours employé dans cet ouvrage pour la dimension dans le sens de laquelle la pression se fait.

raide, comme d'un corps dur qui est capable de soutenir une énorme pression, et qu'un petit coup de marteau peut briser.

Afin de marquer le point où l'épaisseur atteint cette proportion avec la longueur qui rend la raideur d'une barre dangereuse, j'ai arrêté à ce point même les colonnes qui indiquent l'épaisseur ; et dans le cas où il serait nécessaire de soutenir un plus grand poids, alors on augmenterait la largeur au lieu de l'épaisseur.

14. *Exemple V.* Trouver l'épaisseur d'une barre de fonte rectangulaire, capable de porter un poids de dix tonneaux au milieu de sa longueur ; cette longueur étant de vingt pieds, l'épaisseur six fois plus grande que la largeur, et l'inflexion ne dépassant pas un quarantième de pouce par pied de longueur.

Dans la colonne de vingt pieds de la Table Ire, vis-à-vis 60 tonneaux, ou six fois le poids, on trouvera l'épaisseur 15,3 pouces ; et comme la largeur doit être six fois moins grande, elle sera de 2,55 pouces, ou de 2,6 pouces.

Si l'on voulait employer une poutre en sapin, pour porter le même poids sans augmenter l'inflexion, l'on multiplierait 15,3 par 1,71, et l'on aurait 26,2 pour l'épaisseur de la poutre ; sa lar-

geur serait $\frac{26,2}{6}$, ou 4,37 pouces à peu près.

On trouverait également l'épaisseur d'une poutre en chêne, dont la destination serait la même, en prenant pour multiplicateur celui qui est indiqué au bas de la Table, pour cette espèce de bois.

De même, si l'épaisseur a été fixée à quatre fois la largeur, cherchez dans la Table l'épaisseur qui répond à quatre fois le poids, et prenez le quart de cette épaisseur pour avoir la largeur, et ainsi de toute autre proportion.

15. *Exemple VI.* La longueur et la largeur d'une barre étant données, si l'on demande quelle est l'épaisseur que doit avoir cette barre pour porter un poids déterminé, sans altérer sa force élastique, la seconde Table fera trouver cette épaisseur, ainsi que l'inflexion, en cette manière : on divisera le poids donné par la largeur, et l'on aura pour quotient le poids que peut porter une barre d'un pouce de largeur. Cherchant ce dernier poids dans la colonne des poids, qui répond à la longueur donnée, on trouvera vis-à-vis, l'épaisseur demandée, ainsi que l'inflexion.

Soit la longueur donnée égale trois pouces, le poids à porter 10 tonneaux ou 22400 livres avoir du poids, et la longueur vingt pieds. Alors $\frac{22,400}{3} = 7466$, le poids le plus approchant de

7466 dans la colonne qui répond à vingt pieds, est 8330; l'épaisseur qui y répond est 14 pouces, et l'inflexion 0,57 de pouce.

Exemple VII. La seconde Table peut être très utilement employée pour proportionner les parties d'une machine fort simple, propre à peser des poids très considérables. En effet, l'inflexion d'une barre étant en raison directe du poids dont on la charge, tant qu'elle conserve son élasticité, cette inflexion peut servir à mesurer le poids dont on charge cette barre. Il est facile d'y placer un index qui donnant aux divisions une plus grande étendue, les rendrait assez distinctes pour l'usage ordinaire.

Supposons que le plus grand poids à mesurer fût de 4 tonneaux ou de 8960 livres avoir du poids, et que la distance entre les appuis fût de 16 pieds, et prenons 7 pouces pour la largeur de la barre. Alors $\frac{8960}{7} = 1280$. Le poids qui se rapproche le plus de 1280 dans la Table II, sous 14 pieds de longueur, est 1328, et l'épaisseur correspondante est de 5 pouces; c'est celle qu'il faudra donner à la barre. L'inflexion correspondante est 10,2 pouces. Mais si la barre avait la forme représentée *fig.* 4, l'inflexion serait plus grande, et presque égale à 1,7, comme on peut le calculer par l'article 194.

En plaçant l'index de manière qu'il s'élève de cinq pouces quand l'inflexion est d'un pouce, chaque quintal le fera s'élever d'un dixième de pouce; mais il faudrait graduer l'échelle d'après l'emploi que nous faisons du tonneau comme unité de mesure.

Deux barreaux semblables et un index formeraient un pont à peser, qui serait très peu dispendieux, et qui fournirait une balance d'une exactitude suffisante pour la pratique, peu sujette à se déranger, et qui ne demanderait d'autre attention en pesant que d'examiner l'index. Cet index pourrait être renfermé de manière à être, si on le jugeait nécessaire, inaccessible au gardien de cette machine.

16. *Exemple VIII.* Trouver le diamètre d'un cylindre solide de fonte destiné à faire l'arbre d'un moulin, et devant résister à une pression déterminée; l'inflexion au milieu ne passant pas la quarantième partie d'un pouce par pied de longueur.

Supposons la distance entre les deux points d'appui de l'arbre égale à vingt pieds, et la pression équivalente à dix tonneaux; alors nous multiplierons la pression par le multiplicateur constant 1,7 (1), ce qui nous donnera $10 \times 1,7 = 17$;

(1) Voyez art. 218.

et cherchant dans la Table Ire, dans la colonne des 20 pieds, vis-à-vis 17 tonneaux, nous trouverons 11,2 pouces pour le diamètre du cylindre ou de l'arbre.

Mais l'arbre d'un moulin ne doit pas avoir une aussi forte inflexion qu'un quarantième de pouce par pied de longueur, et l'on ne doit guère calculer sur plus de la moitié de cette quantité. On cherchera donc vis-à-vis le nombre 34, double de 17 tonneaux, et l'on trouvera 13,3 pouce; ce sera le diamètre nécessaire pour un cylindre qui doit avoir ce degré de résistance.

Si l'arbre est destiné, par exemple, à porter une roue à eau, la résistance doit s'étendre à toutes les forces qui agiront sur lui; c'est-à-dire, au poids des roues sur l'arbre, et à deux fois le poids de l'eau dans les seaux de la roue à eau, qui, bien qu'il doive surpasser la résistance réelle d'une quantité égale à la différence entre le poids de l'eau et sa force d'impulsion sur la roue, fait une différence trop petite pour mériter qu'on se livre à des calculs qui donneraient des résultats plus exacts.

Exemple IX. On fait souvent les grands cylindres creux afin d'obtenir un plus grand degré de force avec un moindre poids en métal, non-seulement pour économiser sur la première dé-

pense, mais aussi pour diminuer la pression, et par conséquent le frottement sur les tourillons. Si l'on donne au métal une épaisseur égale à la cinquième partie du diamètre extérieur, la force de résistance d'un cylindre creux sera égale à la moitié de celle d'une barre carrée dont le côté serait égal au diamètre extérieur du tuyau (*Voy.* art. 219). Par conséquent cherchant, dans la Table Ire, vis-à-vis le double du poids qui doit agir sur le cylindre, on trouvera le diamètre en pouces qui convient à une longueur donnée.

Supposons, par exemple, un cylindre de 26 pieds, pressé sur son milieu par une force de 2 × 18 tonneaux, ou de 36 tonneaux; répond dans la colonne de 26 pieds, Table Ire, le nombre 15,3 : c'est le diamètre en pouces que doit avoir le cylindre, pourvu qu'il puisse être courbé de 0,65, ou d'un peu plus d'un demi-pouce à chaque révolution. S'il ne devait prendre que la moitié de cette courbure, on chercherait, dans la Table, le nombre qui répond, dans la colonne de 26 pieds, au double de 36 tonneaux. Ce double 72 ne s'y trouvant pas, on prendrait le nombre qui répond à 75 tonneaux, et qui est 18 pouces et demi : c'est le diamètre à donner au cylindre. L'épaisseur en métal devant être de la cinquième partie du diamè-

tre total, serait de près de 3 pouces trois quarts.

17. *Exemple X.* Le diamètre d'un cylindre solide et sa longueur étant donnés, veut-on trouver quel est le plus grand poids qu'il soit capable de porter sans altérer son élasticité, et quelle inflexion sera produite par le poids?

Supposons le diamètre de 11 pouces, et la longueur de 20 pieds; on cherchera dans la seconde Table, dans la colonne de 20 pieds de longueur, et vis-à-vis l'épaisseur 11 pouces: le poids qui s'y trouve est 5142 liv. Multipliant ce nombre par le diamètre 11 pouces, et divisant le produit par le nombre constant 1,7, le quotient sera le poids demandé. Dans ce cas-ci, ce poids est de 33271 liv.; en effet

$$5142 \times 11 \times 1{,}7 = 33271.$$

L'inflexion correspondante à 11 pouces, dans la colonne des 20 pieds, est de 0,73 de pouce.

On réduira cette inflexion à tout autre degré, en calculant ainsi qu'on l'a fait voir dans le troisième et le quatrième exemple.

Application aux cas où une charge doit être uniformément distribuée sur toute la longueur d'une barre.

18. Soit qu'un poids soit uniformément distribué sur toute la longueur de A en B, *fig.* 2,

ou qu'il soit réparti sur différens points à égale distance les uns des autres, comme 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7, (*même figure*), on peut employer la même règle, attendu qu'il n'en résulte pas de différence qui mérite qu'on y fasse attention dans la pratique; mais l'effet de cette charge pour produire l'inflexion, est différent de celui qu'elle a pour produire une altération permanente.

Les auteurs qui ont écrit sur la résistance des solides, ont prouvé que la totalité d'un poids uniformément réparti sur la longueur d'une barre, produit une flèche égale à celle qui résulterait des cinq huitièmes du même poids placé sur le milieu de la barre (1). (Voy. exp. art. 43, 50 et 51.) Il faut donc prendre les cinq huitièmes de la charge entière qui pèse sur la barre, et calculer avec ce poids réduit, ainsi qu'on le fait dans les exemples suivans:

19. *Exemple* XI. Si l'on demande quelles dimensions doit avoir une barre de fonte capable de porter dix tonneaux distribués uniformément sur sa longueur, l'épaisseur de cette barre étant égale à quatre fois sa largeur, et l'inflexion ne de-

---

(1) Dr. Young's lectures on nat. phil., vol. II art. 325-329. M. Barlow's essay an the strenght of timber, art. 91.

4

vant être que d'un quatre-vingtième de pouce pour chaque pied de longueur, ou d'un quart de pouce quand la longueur est de 20 pieds.

Dans ce cas, les cinq huitièmes de dix tonneaux sont six tonneaux et un quart; et comme l'épaisseur doit être égale à quatre fois la largeur, on multipliera $6\frac{1}{4}$ par 4, ce qui donnera 25 tonneaux; mais l'inflexion ne doit être que la moitié de celle indiquée par la table, il faut donc doubler 25, et vis-à-vis ce double 50 on trouvera, dans la colonne qui répond à 20 pieds, l'épaisseur cherchée. Elle est ici de 14,6 pouces, et divisant cette quantité par quatre, on a $\frac{14,6}{4} = 3,65$ pouces pour la largeur; c'est-à-dire qu'une barre de 14,6 d'épaisseur, et de 3,65 pouces de largeur, peut porter un poids de dix tonneaux distribués uniformément sur une longueur de 20 pieds entre ses points d'appui, et sans prendre dans son milieu une inflexion de plus d'un quart de pouce.

Exemple XII. On demande les dimensions que doit avoir une ferme, ou poutre ouverte, en fonte, destinée à porter le plancher d'une chambre, la ferme étant de la forme décrite *fig.* 11. (Voy. art. 32.)

Supposons la distance entre les murs de 25 pieds, et celle d'une ferme à l'autre de 10 pieds.

Alors on aura $10 \times 25 = 250$ pieds carrés supportés par chaque ferme; et la charge sur chaque pied carré étant de 160 livres (voy. la table alphabétique, art. plancher) on aura

$$160 \times 250 = 40000 \text{ livres}$$

pour la charge entière distribuée sur la ferme; mais les $\frac{5}{8}$ de 40000 sont 25000, qui, étant multipliés par 6,3 (1), donnent 157500 liv. Le nombre le plus voisin, dans la Table I, est 156800, et le milieu entre les épaisseurs pour 24 et pour 26 pieds est 17, 8 pouces; c'est l'épaisseur à donner à la ferme. La largeur doit être d'un cinquième de cette épaisseur ou $\frac{17,8}{5} = 3,56$ pouces, et la section en AB et en CD doit être carrée.

Si la poutre se trouvait chargée réellement de la totalité du poids que nous avons calculé, la flèche au milieu serait d'un tiers environ plus forte que celle écrite au bas de la table, à raison de la

---

(1) Je prouve, dans une note qu'on trouvera à l'article 162, que quand la largeur et l'épaisseur de la section d'une barre en AB, ou en CD, *fig.* 11, est un cinquième de l'épaisseur entière du milieu de cette barre, la force est à celle d'une barre carrée comme 1 : 6,3, et la résistance est dans la même proportion.

moindre grosseur de la ferme vers les extrémités; mais la charge dans la pratique n'est que très rarement plus considérable que la moitié de celle que nous avons trouvée, et c'est la courbure qui résulte des charges variables qui cause le plus de dommages aux plafonds.

Maintenant, supposons que la longueur entre les supports soit de 20 pieds, que la distance entre les poutres soit de 8 pieds, le poids étant de 160 livres sur chaque pied carré du plancher; alors $20 \times 8 \times 160 = 25600$ livres $=$ la charge totale qui sera distribuée sur la ferme, et $\frac{5}{8}$ de cette charge multipliés par 6,3 ou $\frac{5 \times 6{,}3 \times 25600}{8} =$ 100800 livres. Le nombre le plus voisin de 100800, dans la Table I, est 103040, et l'épaisseur qui répond à une portée de 20 pieds, est de 14,3 pouces; c'est l'épaisseur que devra avoir la poutre; la largeur sera $\frac{14{,}3}{5} = 2{,}86$ pouces.

On a exécuté, il y a quelques années, des fermes dont les dimensions sont celles qu'on a employées dans les deux exemples précédens.

Exemple XIII. Le même calcul est applicable à une ferme de la forme représentée *fig.* 24. Quand la largeur aux extrémités est en dessus comme en dessous d'un cinquième de l'épaisseur, divisez

cette largeur en dix parties égales, et donnez au milieu de l'épaisseur quatre de ces parties en largeur; l'épaisseur des projections doit être des trois quarts de la largeur (1). D'après ces proportions, l'épaisseur du milieu d'une ferme de vingt-cinq pieds de portée, doit être de 17,8 pouces, et la largeur de 3,56 pouces, comme dans l'avant-dernier exemple; et pour une portée de vingt pieds, 14,3 pouces d'épaisseur, et 2,86 pouces de largeur. J'ai vu employer, dans quelques circonstances, des fermes de moindres dimensions; mais j'aime à croire que cela n'est pas très commun. En examinant avec attention mes calculs, on se convaincra que je n'ai rien donné de trop pour la force qu'exige une matière telle que la fonte.

Lorsqu'on ne trouve dans la Table ni la longueur ni le poids donné, on prend la longueur et le poids qui s'en rapprochent le plus, et les dimensions qu'on en déduit sont toujours assez exactes pour la pratique.

19ª. Quand on se sert de la seconde Table, on doit considérer l'effet d'une charge uniformément distribuée sur la longueur comme égal à celui de la moitié de la charge réunie au point du milieu

---

(1) Voyez la note 148, pour la raison de cette règle.

de cette longueur (art. 102); c'est pourquoi il faudra considérer cette demi-charge comme étant le poids à porter, et calculer comme pour les autres exemples de l'usage de cette Table.

Exemples de l'usage de la Table III.

19[b]. *Exemple* XIV. On veut faire porter le plancher d'un magasin par des piliers de fonte, dans la supposition que la plus forte charge sur chaque pilier sera de 700 quintaux métriques, la hauteur des piliers étant de 4,266 mètres. On demande quel diamètre doivent avoir les piliers.

Cherchez dans la colonne qui porte en tête 4,266 mètres (14 pieds anglais), le nombre qui approche le plus de 700. Ce nombre est 703. Le nombre qui, dans la dernière colonne à droite, se trouve placé sur la même ligne que 703, est 228,3 millimètres; les piliers devront donc avoir 228 millimètres de diamètre.

Si l'on voulait calculer avec une très grande précision, et que le nombre qui indique la charge tombât entre deux des nombres de la colonne qui marque la longueur, on prendrait pour diamètre la moitié de la somme des deux diamètres correspondant à ces nombres; mais il est bien rarement nécessaire de calculer avec cette exactitude.

Exemple XV. Si l'on voulait déterminer le diamètre de piliers en fonte destinés à porter la façade d'une maison, telle, par exemple, que celles que l'on construit à Londres, quand le rez-de-chaussée doit être occupé par des boutiques. Dans ce cas, chaque mètre de longueur de la façade peut être estimé à 40 quintaux métriques par étage, et à 20 quintaux pour le toit; ainsi, dans une maison à trois étages, la plus forte charge sera de

$$(3 + 40) + 20 = 140$$

par mètre de longueur. Maintenant, si les piliers doivent être à 2 mètres de distance, et avoir 3,6 mètres de hauteur, on trouvera $2 + 40 =$ 280 quintaux métriques pour la charge d'un seul pilier. Le diamètre qui répond à cette charge pour un pilier de 3,6 mètres tombe entre 152 et 177 millimètres. Il serait trop faible à 152, on peut le prendre de 164 millimètres; il sera suffisant.

Quand des piliers sont placés à des distances irrégulières, il faut calculer pour celui qui porte la plus grande charge; et s'il arrive que ce pilier soit à 4 mètres de l'appui le plus voisin d'un côté, et à 2 mètres de l'appui le plus voisin de l'autre côté, on prend la somme de ces distances, et la moitié de cette somme est considérée comme la distance moyenne.

Ici l'on a $\frac{4+2}{2} = \frac{6}{2} = 3$ mètres ; c'est la distance moyenne entre les supports.

La pression sur un pilier ne peut pas agir exactement dans la direction de l'axe quand les piliers qui doivent supporter une charge uniforme sont placés à des distances inégales ; et comme cette inégalité se rencontre très fréquemment dans les piliers qui soutiennent les étages des maisons, il est évident que la manière de calculer que j'ai indiquée pour ces cas, ne peut qu'être avantageuse à ceux qui l'adoptent.

Le diamètre de ces sortes de piliers se trouve quelquefois si faible en proportion de leur hauteur et du poids qu'ils ont à porter, qu'un très petit choc latéral suffirait pour les rompre. Tout en faisant des vœux pour qu'une pareille témérité n'entraîne aucun accident fâcheux, nous ne pouvons penser sans effroi aux conséquences qui peuvent être le résultat d'une confiance imprudente dans des appuis qui n'ont pas la force nécessaire.

Nota. L'épaisseur, portée en pouces anglais, dans les deux premières tables, se réduira en millimètres, en la multipliant par 25,4.

SECTION III.

Des formes des barres qui offrent la plus grande résistance.

20. J'ai dit dans l'introduction qu'une des propriétés les plus précieuses de la fonte consistait dans la facilité qu'on a de lui donner, en la coulant, la forme la plus forte pour le but que l'on se propose; et afin de tirer de cette propriété le parti le plus avantageux, il est utile que nous examinions les moyens d'appliquer à la pratique les connaissances théoriques que nous avons sur ce sujet.

Il existe deux moyens d'augmenter la force d'une barre : le premier consiste à disposer, dans la forme la plus avantageuse, les parties de la section transversale; le second, à diminuer la barre vers les parties où elle est exposée à une moindre pression, de manière que la résistance puisse être égale dans tous les points de la longueur.

Des formes d'égale résistance des barres qui doivent résister à une pression transversale.

21. Avant d'indiquer les formes d'égale résistance, qui répondent aux diverses manières de placer la charge, ou d'appliquer la pression, voyons quelles sont les conditions essentielles considérées relativement à la pratique. Premièrement, les parties soutenues doivent avoir assez de grandeur pour garantir leur stabilité ; car il est beaucoup plus important que tous les assemblages soient bien solides, et que les parties chargées ne soient pas exposées à être écrasées, qu'il ne l'est de faire une petite économie sur la quantité de la matière qu'on emploie. Quand les mathématiciens s'occupent des figures d'égale résistance, ils ne prennent pas en considération la manière de les assembler ou de les soutenir. Girard a fait voir que quelle que soit la ligne qui engendre un solide d'égale résistance, ce solide se termine toujours en un simple point, ou dans une arête qui est ou perpendiculaire ou parallèle à la direction de la force de pression (1). Par conséquent les formes données par ce mode

(1) Traité analytique de la résistance des solides, art. 129.

de pression ne conviennent dans la pratique qu'autant qu'on sait les modifier.

21°. Il est facile de démontrer que, dans une section rectangulaire, quand un poids est porté par une barre, l'aire de la section au point de la plus grande résistance, doit être à l'aire de la section au point de la plus petite résistance, comme six fois la longueur est à l'épaisseur au point de la plus grande résistance (1), et c'est la moindre proportion que l'on doive suivre. Maintenant quand la longueur et l'épaisseur sont égales, l'aire du point de moindre résistance doit être la sixième partie de l'aire du point de plus grande résistance, au lieu de n'être simplement qu'un point ou une arête.

22. Quand une barre est soutenue à ses extrémités, et qu'elle est chargée sur un point quelconque entre les appuis, la charge agissant toujours

---

(1) Car on verra (art. 79), que $\frac{fbd^2}{b^l} = v$. Mais la force de résistance étant simplement proportionnelle à la surface, nous aurons $fb'd' = v$ au point le plus faible. Donc $\frac{bd^2}{bl} = b'd'$ ou $bl : d :: bd : b'd'$. l exprimant la longueur, bd l'aire du point de plus grande résistance, et $b'd'$ l'aire du point de plus petite résistance.

dans la même direction, le meilleur plan paraît être de tenir le côté étendu parfaitement droit, et de faire que la largeur soit partout la même; alors la forme géométrique du côté comprimé est celle qu'on a en tirant deux lignes semi-paraboliques ACD et BCD, *fig.* 3, C étant le point où la force agit (1); mais comme la courbe se termine en A, il est nécessaire, dans la pratique, d'ajouter quelques portions de matière aux extrémités, comme on le voit indiqué par des lignes ponctuées. La même forme convient à une barre dont le point d'appui est au milieu, comme aux bras d'une balance.

23. Cependant des additions irrégulières de cette espèce rendent l'effet de la force qui agit difficile à évaluer, de sorte qu'il vaut mieux renfermer la forme parabolique tout simplement entre des lignes droites, ce qui peut aisément s'exécuter, ainsi que l'a proposé le docteur Young (2), en faisant les lignes qui bornent le côté comprimé tangentes aux paraboles, comme dans la *fig.* 4. Si AE, dans cette figure, est égal à la moitié de CD, alors EC est tangente au

---

(1) Greg. mechanics, 1, art. 180. Galilée l'avait déjà démontré.

(2) Nat. phil., vol. 1, pag. 767.

point C d'une parabole inscrite AC, dont le sommet est en A.

En donnant cette forme à une barre, on économise un quart de la matière; mais elle prendra une inflexion plus grande d'un peu plus d'un tiers, de sorte qu'il y aura une perte quant à la force de résistance de la barre.

24. Si la force agit tantôt sur un côté, tantôt sur l'autre côté d'une barre, les deux côtés doivent être semblables, comme dans la *fig.* 5. C'est ainsi que cela a lieu pour le balancier d'une machine à vapeur à double effet. AB et BF doivent être égaux entre eux, chacun étant égal à la moitié de CD, comme on l'a dit.

25. Il est quelquefois convenable de conserver partout la même épaisseur; et, dans ce cas, la section faite dans toute l'étendue de la longueur de la barre, perpendiculairement à la direction de la force, doit avoir la figure d'un trapèze; on l'a représentée dans la *fig.* 6 (1). La force agit perpendiculairement en C, les points d'appui sont en A et B. Une figure de cette espèce serait évidemment sans stabilité; mais, modifiée comme dans la figure 7, les extrémités formées comme

---

(1) Gregory's mechanics, 1, art. 177.

on le voit en B, on peut obtenir toute la stabilité que l'on voudra, et en employant moins de matière que lorsque l'épaisseur est diminuée, comme dans la forme parabolique. Les flèches sont aussi moins fortes, ce qui donne à cette forme un très grand avantage lorsqu'il s'agit de supporter des charges. Cette forme peut également être employée pour un barreau dont le point d'appui est au milieu, et dont les extrémités sont chargées, comme dans une balance.

25[a]. Quand une barre va en diminuant régulièrement jusqu'aux points où la pression est la plus petite, de manière que toutes les sections soient des figures semblables, soit que les extrémités reposent sur des appuis, et que la charge se trouve au milieu, soit que le point d'appui en porte le milieu, et que la charge pèse sur les extrémités, son contour doit être une parabole cubique (1); et si la section, au point de plus grande pression, est un cercle, la forme de cette barre serait engendrée par la révolution de la parabole cubique autour de son axe, le sommet se trouvant au point de sa moindre pression.

---

(1) Greg. mechanics, art. 181, ou Emerson's mechanics, prop. LXXIII, cor. 1.

Mais, dans la pratique, il vaut mieux, en général, employer une portion de cône, ou une pyramide, le diamètre du point de plus grande résistance devant être à celui du point de plus petite résistance, comme 3 est à 2 (1).

La même figure convient à une pièce encastrée par une de ses extrémités, l'effort agissant sur l'autre; ainsi elle convient à un mât destiné à porter une seule voile.

26. Si un poids est uniformément distribué sur la longueur d'un barreau dont les extrémités sont soutenues sur des appuis, et si sa largeur est partout la même, la ligne qui termine le côté comprimé doit former une demi-ellipse quand le côté inférieur est droit, comme on le voit dans la *fig.* 8 (2).

Je suis dans l'usage de donner au côté comprimé, au lieu de la forme d'une ellipse, celle d'une portion de cercle dont le rayon est égal au carré de la moitié de la longueur, divisé par l'épaisseur du barreau. La ligne ponctuée de la *fig.* 8 en montre la forme.

La même figure, d'égale force, doit être em-

(1) Un cône ou une pyramide semblable renfermera la figure d'égale résistance, la soutangente étant égale à 3 fois son abscisse.

(2) Young's natural philosophy, 1, p, 767.

ployée quand le barreau est destiné à résister à la pression d'une charge qui roule sur lui ; ainsi les poutres d'un pont, les ornières d'un chemin en fer, etc., doivent avoir cette forme.

26[a]. Quand un barreau doit supporter un poids uniformément distribué sur toute sa longueur, et que son épaisseur est partout la même, le barreau étant appuyé aux deux extrémités, alors le contour de la largeur doit former deux paraboles ABC et ADB, réunies par leurs bases, et dont les sommets C et D se trouvent au milieu de la longueur, ainsi qu'on le voit *fig.* 35 (1). Dans la pratique, les arcs ACB et ADB peuvent être des portions de cercle.

Quand les extrémités sont modifiées, comme dans la *fig.* 7, cette forme est la plus avantageuse pour un barreau destiné à supporter un poids distribué uniformément sur sa longueur, soit solive, linteau, ou toute autre pièce de même nature.

26[b]. Quand un barreau n'est encastré que par une de ses extrémités, et qu'il doit supporter un poids uniformément distribué sur sa longueur, si la section est partout circulaire, alors la figure

---

(1) Emerson's méchanics, prop. LXXIII, cor. 2.

d'égale résistance sera engendrée par la révolution d'une demi-parabole cubique autour de son axe (1).

Il suffira, dans la pratique, d'employer un conoïde dont le diamètre à l'extrémité qui n'a pas de support, soit le tiers de celui de l'extrémité encastrée (2).

---

(1) Emerson's Mechanics, prop. LXXIII, cor 2.

(2) En effet, l'équation de la courbe est $ax = y^{\frac{3}{2}}$. Donc $\frac{3}{2}x$ = la soutangente = $1,5\,x$; et la longueur du cône qui renfermerait la forme de plus grande résistance est égale à 1,5 de fois la longueur du barreau.

SECTION IV.

De la forme de section la plus forte.

27. Lorsqu'une barre rectangulaire est appuyée par les extrémités, et chargée d'une manière quelconque entre les supports, on peut observer que le côté contre lequel la force agit, est toujours comprimé, et le côté opposé toujours étendu, tandis qu'au milieu de l'épaisseur il y a une partie qui n'est ni étendue ni comprimée, ou qui, en d'autres termes, n'est pas du tout pressée.

Quiconque veut s'occuper d'expériences, peut se convaincre par lui-même que c'est une vérité de fait pour toute espèce de substance, qu'elle soit dure et fragile, comme la fonte, le zinc ou le verre; compacte et ductile, comme le fer forgé et l'acier doux; flexible, comme le bois et le caoutchou; ou enfin, tendre et ductile, comme le plomb et l'étain. On peut l'observer sur les corps très flexibles en tirant des lignes très fines le long du côté de la barre, avant de la soumettre à la pression; dès que la force est appliquée,

les lignes prennent de l'inclinaison, conservant entre elles leur distance respective, à l'exception seulement de l'axe neutre. Dans presque toutes les substances, la fracture montre distinctement qu'une partie s'est étendue, et que l'autre a été comprimée; et dans quelques substances telles que le bois, le plomb, l'étain, le fer forgé, etc., la place de l'axe peut être observée dans la fracture. Mariotte (1) en a le premier fait l'observation dans ses expériences, et elle lui a servi pour corriger la théorie de Galilée. Coulomb (2) et le docteur Young en ont fait la base de leurs recherches, et le dernier a démontré ce fait important, savoir, qu'une force qui agit obliquement, change la position de cet axe (3); fait que nous examinons avec plus de détails dans notre *Essai*. Barlow, dans une suite nombreuse d'expériences, a cherché, avec beaucoup de soin, la place de l'axe neutre dans les barres horizontales (4); et Duleau a très ingénieusement déterminé cette

(1) Traité du mouvement de l'eau.

(2) Mémoires de l'Académie des Sciences, Paris, 1773.

(3) Lectures on natural philosophy, vol. II, p. 47. London, 1805.

(4) Essay on the strength of timber, etc., p. 88, etc., 8°. London, 1817.

place en faisant ses expériences sur le fer forgé (1).
Le même fait est rendu sensible au moyen du *teinomètre* du docteur Brewster, invention très belle et très délicate, et qu'il emploie à mesurer l'effet des forces sur les corps élastiques (2).

L'effort décroît de chaque côté en allant vers le milieu, et au milieu il est insensible. Cette partie du milieu de l'épaisseur est ce que j'appelle l'axe neutre ou *l'axe de mouvement.* (Voy. sec. VII, art. 6.)

28. Dans le cas d'équilibre entre la force de pression et la résistance d'une barre, c'est une condition nécessaire que la résistance d'un côté de l'axe de mouvement, soit parfaitement égale à la résistance de l'autre côté, ou que la force de compression soit égale à la force d'extension. Mais, dans la pratique, un corps ne doit jamais être soumis à une pression plus grande que la force qu'il a pour revenir à son état naturel; et comme il est prouvé par l'expérience que, tant que leur force élastique reste parfaite, les corps résistent avec des forces égales à un même degré d'exten-

---

(1) Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé, p. 26, in-4°. Paris, 1820.

(2) Additions to Ferguson's, lectures, vol. 11, p. 232, in-8°. Edimburgh, 1823.

sion ou de compression, il s'ensuit évidemment que, dans la section d'une barre de plus grande résistance, la forme de chaque côté de l'axe de mouvement doit être la même, parce que, quelle que soit la forme de plus grande force pour un côté de l'axe, cette forme doit être également celle de plus grande force pour l'autre côté. L'axe de mouvement, dans les barres de plus grande résistance, sera toujours au milieu de l'épaisseur.

29. Et comme il est prouvé, par les auteurs qui ont écrit sur la résistance des solides, que la force, dans une partie quelconque de la même section, est en raison directe du carré de la distance de l'axe de mouvement (art. 77), quand la pression est la même; il est évidemment avantageux d'arranger les parties de la section à la plus grande distance possible de l'axe de mouvement, pourvu que les parties du milieu soient faites assez fortes pour empêcher que la charge n'écrase et ne réunisse les extrémités, et que la largeur soit suffisante pour assurer la stabilité.

30. Il faut encore observer que, quand les parties ne sont pas également épaisses, le refroidissement du métal se fait inégalement, et qu'il éprouve des efforts partiels par une contraction irrégulière; il arrive même quelquefois des fractures par suite de ce refroidissement inégal, et cette

raison doit engager à donner des dimensions à peu près semblables aux parties d'une même pièce de fonte. Un fondeur habile peut généralement diminuer le danger d'un refroidissement irrégulier ; mais il vaut toujours mieux faire en sorte de l'éviter tout-à-fait.

31. La forme de section que j'emploie ordinairement, afin de remplir ces conditions, est représentée *fig.* 9. AM est l'axe de mouvement; les parties de chaque côté de cet axe sont semblables; le métal est à peu près de la même épaisseur, et les parties nécessaires pour donner de la force et de la stabilité sont rangées à la plus grande distance de l'axe de mouvement.

Une section de cette forme convient à beaucoup de cas; elle est bonne, par exemple, pour le balancier d'une machine à vapeur, comme celui représenté *fig.* 26, ou pour supporter des arches, comme on le voit *fig.* 10; elle convient aux fermes, aux poutres, etc.

32. Quand il est nécessaire de laisser à jour quelque partie du milieu d'une pièce de fonte, ou lorsque l'épaisseur est considérable, j'ai recours à un autre moyen qui offre, dans ce cas, l'avantage certain d'une grande économie. Il consiste à donner au côté comprimé de la pièce, ou à celui contre lequel la force agit, la forme d'une suite

d'arcs, tandis que le côté opposé est en ligne droite. Voyez *fig.* 11. Si cette ligne n'était pas droite, la force et la résistance à la courbure seraient considérablement diminuées.

L'épaisseur, dans cette figure, est supposée partout la même, et la partie la plus étroite du côté courbé est censée de même largeur que le côté en ligne droite, c'est-à-dire qu'elle est supposée telle que l'aire de la section en AB puisse être la même que l'aire de la section en CD.

La figure est tracée pour le cas où la charge se trouve uniformément distribuée sur la longueur, et alors le côté supérieur doit être la courbe d'équilibre qui convient à une charge uniforme. Cette courbe est une parabole ordinaire, mais un arc de cercle s'en approchera toujours assez quand la courbure sera aussi peu considérable. La partie supérieure de la pièce forme une arche dont la partie inférieure ou le lien droit forme les appuis. Les petites arches ont pour objet de lier les deux parties et de donner de la stabilité au tout.

La liaison formée de cette manière est nécessaire pour soutenir la partie inférieure, et il en résulte que l'effet de la force de pression est semblable à celui où cette force s'exerce sur

une barre solide. Plusieurs fermes, plusieurs poutres pour des planchers ont été exécutées sur ce principe ; on trouve art. 19, section II, une méthode simple pour déterminer les proportions de ces pièces.

Toutes les parties doivent, autant que cela se peut, être du même volume, afin d'éviter les inconvéniens d'un refroidissement irrégulier.

33. Si la charge était distribuée de toute autre manière, la courbe devrait alors être la propre courbe d'équilibre convenable à cette charge (1).

Car, si ce n'était pas la courbe convenable, il s'exercerait sur la barre des efforts irréguliers qui en altéreraient la force. La courbe d'équilibre doit passer partout au milieu de l'épaisseur de la partie courbée de la pièce, et doit rencontrer l'axe du lien droit au centre des supports sur lesquels la pièce s'appuie. Ainsi AC (*fig.* 36) étant la courbe d'équilibre, AD l'axe ou la ligne centrale du lien; AB devra être le centre du support sur lequel la pièce est appuyée.

34. Si la charge est placée sur un point, le côté supérieur doit être formé de deux lignes droites qui

---

(1) On peut voir la méthode pour trouver la courbe d'équilibre dans mes *Principes élémentaires de charpente*, section 1, art. 47 - 61.

se rencontrent au point où se trouve cette charge, comme en A, *fig.* 12.

Les parties ouvertes doivent être disposées de la manière qui convient le mieux à l'objet auquel la pièce est destinée; mais on peut en général leur donner deux ou trois pieds à chacune. Quand des pièces semblables à la figure 11 sont employées comme poutres, leurs ouvertures tiennent lieu de mortaises pour recevoir les solives.

34[a]. Quand une barre doit supporter une charge à l'un de ses bouts, l'autre bout étant encastré; ou bien, quand une barre est chargée aux deux extrémités, et appuyée par le milieu, alors le lien doit former la partie supérieure de la barre; il est évident qu'il doit être en ligne droite par les raisons déjà données. Les autres parties doivent également être droites, à l'exception du léger degré de courbure que le poids ferait prendre à la partie où se balanceraient les forces agissantes. L'arrangement pour cette espèce de pression, pourrait ressembler à celui de la *fig.* 12 renversée, l'appui se trouvant en A, et les charges en B et en D.

34[b]. Mais quand la charge est uniformément distribuée sur la longueur, le côté inférieur AC (*fig.* 37) doit être courbé. La courbe qui convient à une charge uniforme, est la parabole or-

dinaire, le sommet en A. On pourrait, en combinant des pièces de cette nature, faire un pont qui n'aurait aucune pression latérale sur ses piles et sur ses culées. Si CD est la largeur d'une pile, il est très facile de régler la distance entre C et D, de manière qu'une forme donnée aux points B et A ne puisse pas déranger l'équilibre de la construction.

Un pont de cette espèce n'aurait pas à craindre les effets de la dilatation ou de la contraction, attendu que la liaison au point de réunion des pièces en A, pourrait se faire de manière à permettre, sans aucun danger, les mouvemens de dilatation ou de contraction.

Dans le plan d'un pont fort considérable que j'avais tracé sur ce principe, il y a déjà quelques années, les pièces devaient être assemblées sans faire usage de cintres; les parties à jour des pièces, dans l'intervalle des piles, étant composées de supports verticaux et de liens diagonaux.

De la forme de section la plus forte pour les arbres tournans des machines.

35. Quand une pièce tourne sur un axe, et que la force qui s'exerce sur elle, agit constamment dans la même direction, la meilleure forme de

section est évidemment celle qui présente la même force de résistance à l'effort sur un point quelconque de son périmètre, et le cercle est la seule forme de section qui puisse avoir cette propriété.

Dans une pièce de toute autre forme que la forme cylindrique, la flèche de courbure sera différente en différentes parties de la révolution, et par conséquent le mouvement, surtout dans les machines neuves, ne sera pas régulier. Dans un arbre carré (et cette forme est la plus communément employée), la résistance à la pression dans un point, est à la résistance à la même pression dans un autre point du périmètre, comme deux est à sept, à peu près (art. 80). Dans les arbres tournans dont la forme de section ressemble à celle de la *fig.* 13, la résistance est plus régulière, mais elle ne l'est pas entièrement (1).

---

(1) On ne saurait donner trop d'attention à l'effet de la courbure dans les instrumens d'Astronomie un peu pesans, et dans toutes les machines qui demandent de la régularité et de la précision dans les mouvemens. On peut, en augmentant la force, diminuer l'irrégularité, mais on ne saurait l'empêcher complètement. Le lecteur curieux d'étudier ce qui a rapport à ce sujet, relativement aux instrumens d'Astronomie, peut consulter *The Philosophical Magazine*, vol. LX, p. 338, et LXI, p. 10.

C'est par la même raison que les sections des mâts des vaisseaux doivent être circulaires.

36. Comme le cercle est la forme de section la meilleure pour un arbre tournant, la forme de plus grande force et de plus grande résistance, pour ce même arbre, est celle d'un cylindre creux; cette forme est aussi la plus capable de résister à la force de torsion à laquelle ces sortes de pièces sont toutes plus ou moins exposées.

L'idée de faire des tubes creux, pour résister à des forces qui changent souvent de direction, a incontestablement été puisée dans la nature; mais, dans la pratique, on ne peut pas tirer de ce principe tout l'avantage qu'il présente, parce qu'il est difficile d'exécuter parfaitement la fonte d'un tube mince, et qu'il est beaucoup plus économique de faire solides les différentes pièces d'un diamètre peu considérable.

On fait d'ordinaire les tubes creux d'un diamètre uniforme, avec des tourillons séparés, pour fixer aux bouts. La manière de calculer la résistance des tubes creux destinés à servir d'arbres tournans, est expliquée art. 219 et 220; on a donné, art. 16, une méthode facile et vulgaire de faire ce calcul. Si ces tubes doivent être employés à d'autres usages, il faut consulter l'art. 140 et ceux qui le suivent, et qui traitent du même objet.

SECTION V.

Détail de quelques expériences sur la résistance de la fonte.

37. On n'a fait, avant moi, qu'un très petit nombre d'expériences sur la résistance de la fonte, dans lesquelles on ait mesuré le degré d'inflexion produit par un poids donné. Je me propose de comparer avec les règles dont j'ai fait usage pour calculer les tables de cet ouvrage, le peu d'expériences venues à ma connaissance, et qui sont assez détaillées pour permettre cette comparaison; j'y ajouterai plusieurs expériences nouvelles.

Expériences de M. Banks (1).

38. M. Banks a fait quelques expériences sur la fonte, mais il n'a observé l'inflexion qu'à l'instant de la fracture. Ces expériences ont eu lieu dans une fonderie, à Wakefield. Le fer avait été

(1) Tiré d'un *Traité sur la puissance des machines*; par John Banks Kendall, 1803, p. 95, (en anglais).

fondu dans un fourneau à air ; les barres avaient un pouce carré, et les appuis étaient placés exactement à une verge (914 millim.) de distance. Une verge de ce fer en longueur pesait exactement neuf livres, à l'exception d'une des barres, qui pesait environ une once de moins, et d'une autre, qui pesait quelque chose de plus. Toutes s'infléchirent d'environ un pouce avant la fracture.

La première barre rompit sous un poids de 963 livres ; la seconde, sous 958 livres ; la troisième, sous 994 livres. Poids moyen, 971 $\frac{2}{3}$ livres. Une quatrième barre, de fonte moins pure, se rompit sous 864 livres.

39. La règle d'après laquelle la première table est calculée, a conduit à l'équation 0,001 $WL^2 = BD^3$, dans laquelle W représente le poids en livres ; L, la longueur en pieds ; B, la largeur en pouces; et D, l'épaisseur aussi en pouces. 0,001 est un multiplicateur constant, que j'indiquerai quelquefois par la lettre *a*.

Cette règle détermine les dimensions pour une inflexion d'autant de quarantièmes de pouce qu'il y a de pieds en longueur ; et si *d* représente l'inflexion déterminée par l'expérience, on a

$$d : W :: \frac{L}{40} : \frac{LW}{40d}$$

$\frac{WL}{40d}$ étant substitué pour le poids W dans l'équation précédente, donne

$$\frac{0{,}001\,WL^3}{40d}=BD^3$$

ou $$0{,}001=a=\frac{40BD^3d}{WL^3}$$

Dans cette forme, l'équation peut être appelée formule de comparaison; et si la valeur qu'on en tirera pour a est la même ou à peu près la même que celle dont je me suis servi, il sera bien évident que les données sur lesquelles la Table a été calculée, sont celles qui convenaient.

40. En prenant le milieu entre les trois premières expériences de M. Banks, on a

$$\frac{40BD^3d}{WL^3}=\frac{40}{971\times27}=0{,}00152=a;$$

et pour la barre de la quatrième expérience,

$$\frac{40BD^3d}{WL^3}=\frac{40}{864\times27}=0{,}0017=a.$$

Les expériences de M. Banks semblent donc indiquer qu'il a employé du fer plus flexible; mais elles ne sont pas assez exactes pour fournir les élémens d'une règle de pratique, attendu que les inflexions n'ont pas été observées correctement, et qu'elles ne l'ont pas été au moment con-

venable; car lorsqu'une barre est chargée presque jusqu'au point de fracture, les flèches de courbure deviennent très irrégulières, et augmentent dans une proportion bien plus grande que celle des poids (*voy.* art. 42, 52, 54 et 56), et doivent par conséquent donner pour *a* une valeur plus élevée que sa vraie valeur. C'est ce qui arrive dans les expériences précédentes.

Expériences de M. Rondelet (1).

41. M. Rondelet, dans son ouvrage sur l'art de bâtir, a donné le détail de quelques expériences de différens genres sur le fer de fonte, et qui ont été faites sur des échantillons d'un pouce français en carré, ou de 1,066 pouces anglais, appuyés aux extrémités et chargés au milieu de leur longueur.

---

(1) Ces expériences sont tirées de son Traité théorique et pratique de l'art de bâtir, 6 tomes in-4°. Paris, 1814, tome IV, p. 514.

Le traducteur a dû laisser subsister la réduction des poids et mesures français en poids et mesures anglais, parce que cette réduction sert de base au calcul de l'auteur, pour montrer que les expériences de M. Rondelet confirment la justesse du nombre constant qui a été employé pour former la Table 1. (*Note du traducteur.*)

Premières Expériences. *Distance entre les supports* 3,73 *pieds* (1,1369 mètres).

Poids en livres.	134	201	268	335	
Nature de la fonte.	Courbure en pouces.	Courbure en pouces.	Courbure en pouces.	Courbure en pouces.	
1 fonte grise.	0,089	0,200	0,357	0,490	Rompue sous 482
2 *idem.*	0,156	0,313	0,380	0,490	Rompue sous 482
3 fonte douc.	0,134	0,313	0,466	0,620	Rompue sous 700
4 *idem.*	0,022	0,067	0,134	0,200	Romp. sous 1140
5 *idem.*	0,089	0,156	0,245	0,380	Rompue sous 375
5 *idem.*	0,089	0,178	0,290	0,445	Rompue sous 605

Secondes Expériences. *Distance entre les supports* 1,865 *pieds* (0,5689 mètres).

Poids en livres.	322	483	644	805	
Nature de la fonte.	Courbure en pouces.	Courbure en pouces.	Courbure en pouces.	Courb. en pouces.	
1 fonte grise.	0,067	0,089	.....	....	Romp. sous 580 l.
2 *idem.*	0,0445	0,089	0,112	0,134	Romp. sous 1063
3 fonte douc.	0,0445	0,089	0,134	0,153	Romp. sous 1770
4 *idem.*	0,0445	0,067	0,134	....	Romp. sous 1360

Pour comparer ces résultats avec la formule qui a servi à calculer les tables, j'ai pris le terme moyen entre les courbures correspondantes au poids de 335 livres pour les barreaux les plus longs, et à celui de 483 livres pour les plus courts, et j'ai trouvé que, pour la fonte grise,

Les longs barreaux donnent... $a=0{,}00134$.

Les petits barreaux donnent... $a=0{,}00135$.

et que, pour la fonte douce,

Les longs barreaux donnent... $a=0{,}00112$.

Les petits barreaux donnent... $a=0{,}00118$.

Ces valeurs de a ont été calculées par la formule de comparaison donnée *article* 39, et les dernières s'accordent presque avec celle qui a été employée pour calculer la table.

Expérience de M. Ebbels.

42. Suivant une expérience qui m'a été communiquée par M. R. Ebbels, une barre de fonte, d'un pouce d'équarrissage, et portée sur des appuis écartés de trois pieds, a fléchi au milieu de $\frac{3}{16}$ de pouce, sous un poids de 308 livres, suspendu par ce milieu. L'espèce de fonte était dure et ne cédait pas très facilement à la lime. Elle provenait d'une fonderie du pays de Galles.

Cette expérience nous donne

$$\frac{40BD^3d}{L^3W} = \frac{40 \times 3}{27 \times 308 \times 16} = 0{,}000902 = a.$$

Par conséquent, le fer de cette qualité est d'environ un dixième plus fort que celui d'après lequel la table a été calculée, ou plutôt il s'infléchirait d'un dixième de moins que l'autre sous le même poids.

EXPÉRIENCES DE L'AUTEUR.

Expérience 1.

43. Une solive en fonte, de la forme représentée *fig.* 9, a été soumise aux épreuves suivantes. Elle n'était appuyée que par ses extrémités; la distance entre ses supports étant de 19 pieds, placée de champ son moindre poids la faisait courber de trois quarantièmes de pouce.

Mais, quand on la posait à plat, son propre poids la faisait fléchir de 3,5 pouces, quoique sa distance entre les supports fût toujours la même, ou de 19 pieds.

L'épaisseur entière *ad*, *fig.* 9, était de neuf pouces; la largeur *ab*, de deux pouces; l'épaisseur au milieu, en *ef*, de sept pouces et demi; et la largeur, dans la même partie, de trois quarts de pouce.

44. On peut facilement démontrer que pour obtenir la valeur de a de l'expérience, sur la pièce posée de champ, on peut se servir d'une équation de cette forme (*voy.* art. 154 et 177):

$$a = \frac{40BD^3d(1-p^3q)}{\frac{3}{8}WL^3} = \frac{64BD^3d(1-p^3q)}{WL^3}$$

dans laquelle D représente l'épaisseur entière, et pD l'épaisseur du milieu; B, la largeur la plus grande, et qB la largeur diminuée de celle du milieu.

Dans l'expérience qui nous occupe $D=9$ pouces, et $pD=7{,}5$ pouces, ou $p=0{,}833$; $B=2$ pouces; et, en en ôtant trois quarts, largeur du milieu, on a $qB=1{,}25$, ou $q=0{,}625$; et comme le poids de cette pièce, entre ses supports, est de 540 livres, nous avons pour le nombre constant $a=0{,}00124$.

L'équation, pour trouver la valeur de a, la pièce étant posée à plat, est

$$\frac{64BD^3d(1+p^3q)}{WL^3} = a = 0{,}00092.$$

Ici $D=2$ pouces, $B=9-7{,}5=1{,}5$;

$$p=\frac{0{,}75}{2} \text{ et } q=\frac{7{,}5}{1{,}5}$$

Je regarde la valeur de a tirée de l'expérience,

avec la solive posée à plat, comme s'approchant le plus de la vérité, parce que l'inflexion était assez considérable pour qu'une légère erreur, en la mesurant, ne pût pas affecter le résultat d'une manière sensible, tandis qu'on est toujours dans l'incertitude quand il s'agit de constater une courbure aussi faible que trois quarantièmes de pouce sur une largeur de dix-neuf pieds ; et la moindre erreur dans cette mesure occasionnerait une différence entre les résultats. Quoi qu'il en soit, j'ai donné cette expérience comme je l'ai faite dans le temps, et le calcul qui s'y rapporte peut être utile dans d'autres cas. En prenant le milieu entre les deux résultats, on a

$$\frac{0{,}00124 + 0{,}00092}{2} = 0{,}00108.$$

L'expérience avec la pièce posée à plat donne un multiplicateur constant qui se rapproche extrêmement de celui qui a été déterminé d'après une barre du même fer, d'un pouce d'équarrissage et de trente-quatre pouces de long (art. 46), et il ne diffère que d'un douzième environ de celui qui a servi pour calculer la table de l'art. 5.

Expérience 2.

45. Je me propose maintenant de décrire les

expériences directes que j'ai faites pour obtenir les multiplicateurs constans dont j'ai fait usage dans cet ouvrage. J'appelle expériences directes celles dans lesquelles on emploie des poids connus pour exercer une force de pression, sans l'intervention des moyens mécaniques, sans perte d'effet par des frottemens, ou sans courir le danger de commettre des erreurs dans l'estimation de la quantité de force; celles enfin où le dérangement des supports ne peut pas affecter la mesure de l'inflexion, et où cette mesure peut être prise avec précision.

Le fer dont je me suis servi était de la fonte grise et douce; elle cédait aisément à la lime, et s'étendait un peu sous le marteau, avant de devenir fragile et de se rompre (1).

La première expérience a été faite avec un barreau d'un pouce d'équarrissage, fondu par MM. Dowson, de Londres; les appuis étaient éloignés de trente-quatre pouces; les poids étaient placés dans un plateau de balances suspendu au

(1) Un degré considérable de malléabilité est une bonne qualité dans la fonte destinée à soutenir des charges, parce que le danger des fractures subites se trouve moins grand. Le fer employé était un mélange de deux parties de l'espèce dite fer de Butterly, et d'une partie de vieux fer.

milieu de la longueur. On augmentait la charge de dix livres chaque fois, et chaque fois on mesurait la courbure au moyen d'un index qui en grossissait les parties. Cette expérience a duré près de quatre heures, et, pendant qu'on l'a faite, le thermomètre n'a varié que de 65° à 66° (14°,15 — 15° R.). On n'a porté dans le tableau ci-dessous que la moitié des observations; on aurait dû ajouter aux poids celui du plateau, qui était de huit livres.

Poids.	Courbure.	Remarques.	Poids.	Courbure.	Remarques.
20	0,02		240	0,13	
40	0,03		260	0,14	
60	0,04		280	0,15	
80	0,05		300	0,16	Déchargé, a repris son état naturel.
100	0,06		320	0,17	
120	0,07		340	0,18	
140	0,08		360	0,19	
160	0,09		380	0,20	
180	0,10	Déchargé, a repris son état naturel.	400	0,21	L'inflexion est devenue irrégulière.
200	0,11		410	0,22	Déchargé, n'a pas repris son état naturel, et est resté infléchi de 0,015 de pouce.
220	0,12				

Il résulte de cette expérience que les flèches de courbure de la fonte sont exactement proportionnelles à la charge, jusqu'à ce que l'effort parvienne à une certaine étendue, et que,

alors elles deviennent irrégulières; et que cette force ou à peu près cette force occasionne une altération permanente dans la structure du fer, et lui fait perdre une partie de sa force élastique. La même chose a lieu dans les expériences sur les autres métaux. J'en ai fait sur le fer forgé, l'étain, le zinc, le plomb, et sur des alliages d'étain et de plomb, dont l'objet était de mesurer leurs forces élastiques, et l'effort sous lequel ces métaux éprouvent une altération permanente.

46. D'après l'expérience qui précède,

$$\frac{40BD^3d}{WL^3} = \frac{40 \times 0{,}21}{400 \times 22{,}7} = 0{,}000925 = a,$$

Expérience 3.

47. Les expériences qui suivent ont été faites sur un barreau uniforme, fondu par M. Dowson, de trois pouces, sur un pouce et demi de côté, et dont les appuis se trouvaient à 6,5 pieds de distance. Ce barreau, placé sur son côté étroit, et chargé dans le milieu d'un poids de 150 livres, a pris au milieu une courbure d'un quarantième de pouce; chargé de 290 livres, l'inflexion a été de deux pouces; 360 livres l'ont portée à deux pouces et demi, et 440 livres à trois pouces. Les mêmes flèches ont été observées en retirant la charge, et

le barreau a repris son état naturel. Nous aurons pour nombre constant, d'après cette expérience,

$$\frac{40BD^3d}{WL^3} = \frac{1.5 \times 27 \times 3}{440 \times 274,625} = 0,00105 \text{ à peu près} = a,$$

Expérience 4.

48. La même pièce posée à plat sur les appuis dont la distance n'a pas été changée, et chargée au milieu d'un poids de 180 livres, a pris au milieu une courbure de cinq quarantièmes de pouce, et, chargée de 360 livres, la courbure a été de dix quarantièmes de pouce.

Le barreau s'est redressé complètement lorsqu'on a retiré les poids, et l'expérience ayant été recommencée a donné les mêmes résultats; on a laissé pendant dix heures le poids de 360 livres sur le barreau, sans que sa force élastique ait été altérée, et sans que la courbure ait éprouvé la plus légère augmentation.

49. Au moyen de cette expérience et de la précédente, on peut comparer le rapport de la largeur et de l'épaisseur avec l'inflexion, quand le poids est le même. La théorie de la résistance à la courbure, article 216, donne

$$d : \frac{1}{BD^3},$$

et pour un poids de 360 livres on a

$$\frac{1}{1,5 \times 3^3} : \frac{1}{3 \times 1,5^3} :: 2\frac{1}{2} : \frac{9 \times 2,5}{2,25} = 10,$$

ainsi qu'on l'a trouvé par l'expérience.

Pour déduire le multiplicateur constant de la dernière expérience, on a

$$\frac{40BD^3d}{WL^3} = \frac{3 \times 3,375 \times 10}{360 \times 274,625} = 0,00102 = a.$$

Cette valeur de a ne s'accorde pas parfaitement avec celle calculée d'après la première expérience faite avec le même barreau ; mais elle en approche autant qu'on peut l'attendre dans un cas de ce genre, et, sous le rapport de la pratique, elle est une approximation aussi exacte que l'exige la nature du sujet.

Expérience 5.

50. Je voulais essayer l'effet d'une charge uniformément distribuée, et mes poids, qui sont des cubes de fonte d'égale dimension, et de dix livres chacun, convenaient parfaitement à cet objet.

Le même barreau employé dans l'expérience précédente a été mis à plat sur des appuis écartés de 6 pieds 6 pouces, et dix-huit poids, en tout 180 livres, ont été placés sur la largeur du barreau, de manière à ce qu'ils ne se touchassent pas

entre eux (*Voy. fig.* 2). La courbure produite par cette charge a été de $\frac{3}{40}$ de pouce.

180 livres ayant été ajoutées à la première charge, et distribuées de même, l'inflexion a été de $\frac{6}{40}$ de pouce.

51. Il paraît donc que les flèches de courbure sont en raison directe du poids uniformément distribué sur la longueur d'un barreau de fonte.

En comparant cette expérience avec la précédente, il paraît que l'inflexion produite par un poids uniformément distribué sur la longueur d'un barreau, est à celle produite par le même poids placé sur le milieu de ce barreau, comme 6 : 10.

La proportion que donne la théorie, est comme 5 : 8; mais 6 : 10 :: 5 : 8 $\frac{1}{3}$; cette légère différence tient indubitablement à quelque erreur dans la mesure de la courbure prise en faisant les expériences.

Pour comparer la valeur du multiplicateur constant que donne cette dernière expérience, il faut réduire l'équation

$$\frac{40BD^3d}{WL^3} = a;$$

elle donne pour a le multiplicateur 0,00098.

Expérience 6.

52. Elle a été faite sur une pièce de fer fondu

par MM. Bramah, de Pimlico, près de Londres. Elle se brisait plus facilement sous le marteau que celle de l'expérience précédente, et ne se laissait pas aussi aisément entamer par la lime; elle était régulière et d'un grain fin.

Cette barre uniforme avait $\frac{9}{10}$ de pouce d'équarrissage; ses appuis étaient distans de trois pieds, et la charge était placée au milieu, entre les supports.

Poids en livres.	Courbure en pouces.	Remarques.	Poids en livres.	Courbure en pouces.	Remarques.
20	0,02	Déchargé de 180 livres, le barreau a repris sa forme première; rechargé, la courbure a été la même, et n'a pas augmenté pendant 12 heures qu'on a laissé la charge; mais quand on l'a retirée, on a observé que le barreau avait pris une courbure permanente de 0,02 de pouce. L'index ayant été replacé sur 0, les poids ont produit la même courbure qu'en premier lieu; on a ensuite continué à charger le barreau, ainsi qu'on le voit dans le tableau.	220	0,225	
40	0,04		240	0,245	
60	0,06		260	0,27	
80	0,08		280	0,293	
100	0,10		300	0,318	Ce poids étant resté 20 minutes sur le barreau, la courbure s'est trouvée de 0,32 pouces.
120	0,12		320	0,34	
140	0,14		340	0,365	
160	0,162		360	0,392	
180	0,183		380	0,42	
200	0,21		400	0,445	
			420	0,475	
			440	0,5	
			460	0,532	
			480	0,57	Et au bout d'une heure, 0,58.

Quand on eut retiré les poids, la pièce conserva une courbure permanente de 0,075 de pouce ; mais elle fut plusieurs heures à revenir à cette courbure. Je ne fis pas rompre le barreau d'essai, n'ayant pas à ma disposition une quantité suffisante de poids ; d'ailleurs, cela n'aurait pas donné une mesure bien juste de la force du fer, après les essais que j'ai rapportés ; mais j'espère que le résultat de ces expériences convaincra le lecteur de la nécessité de ne pas hasarder de charge qui dépasse les limites de la force élastique de la substance employée.

D'après cette expérience,

$$\frac{40BD^3d}{WL^3} = \frac{40 \times 9^4 \times 0,21}{200 \times 27} = 0,00102 = a.$$

Comparaison des expériences précédentes.

53. Si l'on prend la valeur moyenne des expériences, depuis l'article 42 jusqu'à l'article 52, on aura $a = 0,0010446$. On s'est servi pour calculer la première table, art. 5, du nombre 0,001, approximation suffisante, et qui a l'avantage de beaucoup de simplicité.

Expériences 7, 8 et 9.

54. Ces expériences ont été faites avec des

échantillons de la forme représentée *fig.* 4. La plus grande épaisseur était au milieu exactement, en CD, et de 0,975 de pouce; l'épaisseur en EA et en BF n'était que de la moitié de celle du milieu; la distance des points d'appui était de 3 pieds, et la largeur des échantillons de 0,75 de pouce. La charge était suspendue au point C, milieu de la longueur, et la courbure se mesurait au même point; on augmentait la charge de 10 livres à chaque expérience.

Poids suspendu.	1er échantillon, courbure.	2e échantillon, courbure.	3e échantillon, courbure.
40	0,052 po.	0,065 po.	0,052 po.
80	0,104	0,13	0,105
120	0,16	0,19	0,16
160	0,215	0,25	0,21
180	0,245	0,28	0,24
200	0,272	0,32	0,265
500	0,84		
540	rompu.		

Le premier échantillon conserva pendant douze heures le poids de 180 livres; la courbure n'augmenta pas sensiblement, et le barreau reprit son état naturel quand on l'eut déchargé. On le chargea de nouveau d'un poids de 200 livres, qui y resta deux heures; alors on ôta le poids et l'on

observa qu'il avait pris une courbure permanente de 0,005 de pouce ; le barreau fut chargé une troisième fois, et l'on observa les flèches chaque fois qu'on ajouta 20 livres à la charge. La courbure produite par l'addition de 20 livres fut d'abord de 0,026, ensuite de 0,03, 0,04, et vers la fin de l'expérience de 0,05. Quand la charge eut été portée à 360 livres, j'observai que chaque fois que j'y ajoutais un poids de 10 livres, la courbure augmentait par un mouvement brusque, chaque mouvement n'étant pas de moins d'un centième de pouce. Ces sauts brusques paraissaient venir de ce que les extrémités du barreau glissaient sur les appuis au moment où l'on ajoutait le poids ; le barreau faisait entendre une espèce de craquement semblable au bruit que fait un morceau d'étain que l'on ploie. Il y avait un petit défaut dans le barreau à l'endroit où il cassa, c'est-à-dire à 4 pouces du milieu.

Quand on enlevait à la fois les 200 livres dont on avait chargé le second échantillon, il revenait tout simplement à sa forme naturelle ; mais une charge de 180 livres qu'on y laissa pendant quatorze heures, y produisit une courbure permanente de 0,005 de pouce.

La charge de 200 livres ayant été laissée pendant vingt et une heures sur le troisième échantillon

l'index, quand on le retira, retourna à zéro; ainsi cette force n'était pas suffisante pour y produire une courbure permanente; mais il en prit une d'environ 0,01, quand on eut porté la charge à 210 livres, et qu'on l'y eut laissée pendant dix heures. La fonte de cet échantillon était plus douce et de meilleure qualité que celle des autres.

Il ne paraissait pas y avoir de différence sensible dans la qualité du fer de ces derniers échantillons; seulement le second était plus cassant sous le marteau que les deux autres. Le grain de tous était fin, et la lime les entamait aisément; ils sortaient de la fonderie de MM. Bramah.

55. J'avais commencé une expérience sur un barreau de la même espèce de fer, et dont la forme était celle de la *fig.* 4; mais il se rompit subitement à un pied environ d'un de ses bouts, dans un endroit où se trouvait une bulle d'air: cette bulle ne paraissait pas à la surface, et cependant elle en était si voisine, que le moindre coup de marteau aurait pu y pénétrer. Les fondeurs ne sauraient trop soigneusement éviter de semblables défauts; et l'on devrait toujours éprouver les pièces destinées à supporter des poids considérables, afin de s'assurer, avant de les employer, si les flèches de courbure qu'elles prennent ne sortent pas des limites de leur force d'élasticité.

Expériences 10, 11 et 22.

56. Ces essais ont été faits sur trois barreaux de largeur et d'épaisseur uniforme, dont les appuis étaient écartés de 3 pieds et qu'on chargeait au milieu de leur longueur; la largeur et l'épaisseur étaient chacune de 0,9 de pouce (23 millim).

Poids sur le barreau.	1er échantillon, Courbure produite.	2e échantillon, Courbure produite.	3e échantillon, Courbure produite.
40 liv.	0,041 po.	0,042 po.	0,041 po.
80	0,082	0,091	0,08
120	0,124	0,136	0,12
160	0,164	0,181	0,16
180	0,185	0,202	0,18
200	0,206		0,20

Le poids de 200 livres fut laissé pendant douze heures sur le premier échantillon, et, quand on le retira, la quantité de courbure permanente était à peine sensible. Il fut chargé et déchargé de nouveau, et présenta le même résultat.

On laissa pendant trois heures une charge de 180 livres sur le grand barreau, l'inflexion n'augmenta point; mais lorsque les poids furent enlevés, on s'aperçut que l'échantillon avait pris une courbure permanente de près d'un centième de pouce.

Le barreau du troisième échantillon revint parfaitement à son premier état quand on en eut retiré la charge qui y était restée pendant trois heures.

Ce dernier échantillon était celui des trois qui cassait le plus facilement sous le marteau, et qui se laissait le moins entamer par la lime: il n'y avait pas de différence sensible entre les deux autres; la fonte en était douce. Tous avaient été fondus par MM. Bramah.

57. Mon principal objet dans les expériences n°s 2, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, était de déterminer la force à laquelle un pouce carré de fonte résisterait sans altération permanente, et en même temps la quantité d'extension qui correspond à cette force. Si l'on nomme f cette force en livres, l'expérience 2, donne $f = 15300$ livres, d'après la formule de l'art. 106, et cette même formule donne pour les expériences 6, 10 et 12, $f = 14814$ liv.; pour celles 7, 8 et 9, $f = 15160$ livres; pour l'expérience 11, $f = 13333$ livres. La plus grande différence s'élève à environ la huitième partie de la plus forte valeur de f; mais, dans l'expérience 2, la charge ne resta que dix minutes environ sur le barreau; et dans les autres on la laissa pendant plusieurs heures. Je regarde la première comme étant plus strictement applicable

à la pratique; mais il n'en était pas moins utile de faire voir qu'une force dont l'action est long-temps prolongée produit une courbure permanente, quoiqu'elle n'ait pas occasionné cet effet en un petit nombre de minutes.

58. On a calculé, article 156, que l'extension produite par la force de 15300 liv. de l'expérience 2, était de $\frac{1}{1204}$ de la longueur (1); et, par la même méthode de calcul, on trouve que l'allongement dans l'expérience 6, est de $\frac{1}{1143}$; dans l'expérience 10, de $\frac{1}{1165}$; dans l'expérience 11, de $\frac{1}{1107}$, et dans l'expérience 12, de $\frac{1}{1200}$; et par l'équation de l'article 92, on a trouvé l'extension dans l'expérience 7, de $\frac{1}{1332}$; dans l'expérience 8, de $\frac{1}{1132}$; et dans l'expérience 9, de $\frac{1}{1361}$.

La différence entre l'allongement, dans les expériences 8 et 9, est la plus considérable, et le moyen entre les deux, est $\frac{1}{1239}$, quantité qui diffère très peu de $\frac{1}{1204}$, nombre employé pour les règles.

---

(1) Le professeur Leslie a calculé l'allongement pour l'expérience 2, en employant une autre méthode; il l'a trouvé le même que celui que je donne dans le texte.

Leslie's Elements of natural Philosophy, vol. 1, p. 240. Edinb. 1823.

59. *Table des principales expériences qui ont été faites sur la force absolue des barreaux de fonte pour résister à une pression transversale ; les barreaux étant appuyés aux extrémités et chargés au milieu.*

Numéros.	Longueur en pieds entre les appuis.		Dimensions aux points chargés.		Poids qui ont fait rompre	Poids calculés qui détruisent la force élastique.	Rapport du poids calculé au poids qui a fait rompre.
	pi.	po.	l. pi.	ép. po.	livres.	livres.	
1 barre uniform.	3	0	1	1	756	283	1 : 2,7
2 *idem.*	3	0	1	1	735	283	1 : 2,6
3 *idem.*	2	6	1	1	1008	340	1 : 2,96
4 *idem.*	3	0	1	1	963	283	1 : 3,3
5 *idem.*	3	0	1	1	958	283	1 : 3,38
6 *idem.*	3	0	1	1	994	283	1 : 3,5
7 *idem.*	3	0	1	1	864	283	1 : 3,05
8 parabolique.	3	0	1	1	874	283	1 : 3,08
9 barre uniform.	3	0	1	1	897	283	1 : 3,17
10 *idem.*	2	8	1	1	1086	318,75	1 : 3,4
11 *idem.*	1	4	1	1	2320	637,5	1 : 3,6
12 *idem.*	2	8	2	$\frac{1}{2}$	2185	637,5	1 : 3,42
13 *idem.*	1	4	2	$\frac{1}{2}$	4508	1275	1 : 3,53
14 *idem.*	2	8	3	$\frac{1}{3}$	3588	956,25	1 : 3,63
15 *idem.*	1	4	3	$\frac{1}{3}$	6854	1912,5	1 : 3,58
16 *idem.*	2	8	4	$\frac{1}{4}$	3979	1275	1 : 3,12
17 semi-ellipse.	2	8	4	$\frac{1}{4}$	4000	1275	1 : 3,14
18 barre parabol.	2	8	4	$\frac{1}{4}$	3860	1275	1 : 3,03
19 pression uniforme dans le sens de la diagonale.	2	8	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	851	224,5	1 : 3,79

Les deux colonnes de la droite ont été ajoutées pour faire voir la relation entre la charge qui détruit d'une manière durable une partie de la force élastique, et celle qui fait rompre la pièce. On y voit que la charge qui doit produire une altération permanente, d'après la formule déduite de mes expériences, est le tiers environ de celle qui a fait rompre les échantillons ; elle est $\frac{1}{2,6}$ du poids qui a fait rompre la plus mauvaise espèce de fonte qu'on a éprouvée.

Les expériences 1, 2 et 3 de la table précédente ont été faites par M. Reynolds; celle n° 1, à été répétée deux fois, et a donné le même résultat. Le n° 2, est un terme moyen pris entre trois expériences (1). Ainsi le rapport moyen est à peu près de 1 à 2,7. Les expériences 4, 5, 6, 7 et 8, ont été faites par M. Banks (2). Le rapport moyen est de 1 à 3,3. Les autres sont dues à M. Georges Rennie, et tous les barreaux qu'il a éprouvés étaient de fonte de choix (3). Leur rapport moyen est de 1 à 3,4.

59*. En admettant que les expériences précé-

---

(1) et (2) Banks on the power of Machines, p. 89 et 90.

(3) Philosophical Transactions for 1818, part. 1. Phil. Magaz., v. LIII, pag. 173.

dentes soient suffisantes pour fixer, avec un grand degré de certitude, la force la plus considérable à laquelle puisse résister une construction quelconque en fer de fonte, il n'en reste pas moins beaucoup de latitude pour de nouvelles recherches expérimentales; et celle qui doit peut-être être considérée comme la plus importante, est sur l'effet que produirait la combinaison des fers de différentes qualités.

La complaisance de M. Francis Bramah, m'a mis en état de commencer ce travail; il m'a fourni douze échantillons de six sortes de fer; 2, de chaque sorte. Trois de ces échantillons avaient été pris sur du fer de gueuse employé à différens ouvrages en fer; un autre était tiré de vieux fer, dit de rognures; une cinquième était un mélange de parties égales de vieux fer, et de fer de gueuse. Enfin le sixième était un mélange de seize parties de fer de gueuse et d'une partie de cuivre.

Avant d'entrer dans le détail des expériences, il est bon de faire connaître au lecteur la méthode que j'ai suivie pour les faire. Je savais, d'après d'autres essais, que la force qui produit une altération permanente ne peut pas être déterminée avec toute la précision nécessaire pour la comparaison de fers de différentes espèces; on peut seulement observer quand elle est ou quand

elle n'est pas sensible ; et il est très vraisemblable qu'elle le devient par gradations qu'il nous est impossible de suivre. Il était intéressant de déterminer si un poids équivalent à 15300 livres (env. 6,955 kilog.), sur un pouce carré (645 millimètres carrés), produirait une nouvelle altération permanente ; et une charge de 162 liv. (env. 73,5 kilog.) sur le milieu d'un barreau dont la dimension est la même que celle des échantillons, répond exactement à ce poids ; ainsi la flèche de courbure que cette charge fait prendre à des échantillons dont les dimensions sont les mêmes, donne la force relative des différentes sortes de fer, particulièrement lorsqu'on la compare avec la quantité d'altération produite par cette charge, ou par celle qu'on aurait augmentée. Mais, dans des échantillons de dimensions différentes, il est très facile de faire la comparaison en calculant le module de *résilience* ou de résistance à l'impulsion qui donne la raideur, ou la force relative de la matière, pour résister à un coup. Cependant, il faut, même alors, éprouver quelle est la force qui produit une altération permanente, ou celle qui occasionne une fracture, sans quoi l'on ne connaîtrait pas la bonté relative du fer ; j'ai fait l'une et l'autre épreuve sur chaque sorte de fer.

Partout où il faut de la force, l'espèce de fer qui pourra prendre un plus grand degré d'inflexion sans perdre de sa force d'élasticité, et qui supportera la charge la plus considérable, devra être considérée comme étant la meilleure. Les plus mauvaises fontes, les plus cassantes sont celles qui ont le plus de tenacité; par conséquent, le plus haut module d'élasticité, même pour l'espèce de fer la plus flexible, offre toujours assez de résistance (1).

Le fer que nous avons pris comme pouvant nous offrir un terme de comparaison convenable pour établir nos calculs (Voyez art. 45), nous a donné,

Pour la force à laquelle il résisterait
sans altération permanente, 15300 liv.

---

(1) J'ai suivi ici les principes de la comparaison des matériaux que j'ai précédemment établis dans mes *principes élémentaires de charpente*, (art. 368 — 373). La raideur y est mesurée d'après les mêmes données, seulement ou se sert ici d'un nombre de comparaison au lieu d'employer une substance comme terme de comparaison. J'ai hasardé l'expression *module de résilience*, pour le nombre qui représente la force de résistance qu'une matière quelconque oppose à une impulsion, et quand je dis qu'une substance est plus raide qu'une autre, c'est parce que j'ai trouvé ce module plus élevé pour la substance indiquée comme étant la plus raide. Voy. art. 253.

Pour l'extension, en parties de sa longueur.................. $\frac{1}{1204}$

Pour le module d'élasticité sur une base d'un pouce carré......... 18400000 liv.

Pour le module de résilience..... 12,7

En comparant ces nombres avec les résultats des expériences suivantes, on aura un moyen de juger en même temps les qualités du fer soumis aux expériences, et la justesse des termes moyens que j'ai employés.

Fer dit de Old-Park.

59e. J'ai d'abord éprouvé deux échantillons de cette espèce de fer, dont la longueur était de 3 pieds (914 millim.). La fonte était régulière, belle et douce. La coupe des barreaux était rectangulaire, la largeur de 1,3 pouce (33 millim.), l'épaisseur de 0,95 de pouce (24 millim.), la distance entre les appuis de 2,9 pieds (883 mill.); la charge était supendue au milieu.

Poids suspendus.	Effet sur le 1er barreau.	Effet sur le 2e barreau.
60	Infl. 0,1 pouce.	infl. 0,1 pouce.
120	0,2	0,203
162	0,265	0,275
182	0,305 lég. altér	0,31 alt. à peine sens.
190	0,32 alt. de 005	0,33 alt. 0,005

Le fer était légèrement malléable à froid, et se laissait aisément entamer par la lime; sa fracture d'un gris obscur, présentait un faible brillant métallique; son grain était fin et serré.

On peut regarder 162 livres comme étant le poids le plus fort qu'il pût soutenir sans perdre sa force d'élasticité; et 0,27 de pouce comme le terme moyen entre les flèches de courbure produites par ce poids. Calculant donc d'après ces données, nous aurons

Pour la force à laquelle résisterait un pouce carré sans altération permanente, ci.............	15390 liv.
Pour l'extension en longueur que cette force produirait.........	$\frac{1}{1153}$
Pour le module d'élasticité sur une base d'un pouce carré.....	17744000 liv.
Pour le module de résilience.....	13,4
Pour la pesanteur spécifique.....	7,092.

On essaya la force absolue de résistance à la fracture en fixant le barreau par une de ses extrémités, et plaçant à l'autre un plateau de balance dans lequel on ajouta des poids jusqu'à ce qu'il se rompit. Le second barreau éprouvé de cette manière, rompit sous un poids de 184 livres, la longueur du levier étant de 2 pieds. La fracture

se fit près de l'extrémité encastrée ; le métal était sain et parfait dans l'endroit où il se rompit (1).

En calculant par l'équation de l'art. 79, on trouvera que la cohésion absolue d'un pouce carré est de 48200 livres, ou de 3,15 fois, 15300 liv., force qui a été trouvée incapable de produire une altération permanente.

J'en conclus que ce fer est d'une plus grande force et plus flexible que celui de moyenne qualité.

Fonte dite d'Adelphi.

59[d]. Les échantillons de ce fer étaient d'une très belle et très bonne fonte dont les dimensions étaient les mêmes que celles de la fonte d'Old-Park, c'est-à-dire que les barreaux avaient 0,65 de pouce d'épaisseur ; 1,3 pouce de largeur, et qu'ils étaient portés sur des appuis éloignés de 2,9 pieds.

POIDS appliqués	Effet sur le premier barreau.	Effet sur le second barreau.
60	Infl. 0,1 pouce.	Infl. 0,1 pouce.
120	0,2	0,205
162	0,26 nulle altérat.	0,27 nulle altérat.
182	0,3 alt. per. 0,0075	0,304 alt. per. 0,005

(1) Ces deux circonstances doivent avoir lieu, autrement l'expérience ne donnerait pas une mesure exacte de la force.

La comparaison de ce fer avec celui de l'expérience précédente, fait voir qu'il est plus raide et qu'il prend plus tôt une altération permanente. Il est aussi un peu plus dur à la lime, et plus cassant sous le marteau. La couleur de sa fracture était d'un gris plus léger, avec moins de brillant métallique.

Son élasticité n'étant point affectée par un poids de 162 livres,

Il pourrait porter sur un pouce carré sans altération permanente, ci..........................	15390 liv.
L'allongement moyen entre les 2 expériences est de...............	$\frac{1}{1174}$
Le module d'élasticité pour une base d'un pouce carré est de.......	18067000 liv.
Le module de résilience.........	13,1
La pesanteur spécifique.........	7,07

Le second barreau fixé par un bout et chargé à deux pieds de ce bout, se rompit sous un poids de 173 livres ; la fracture se fit tout près du bout fixe; la place était saine et parfaite. D'après cette expérience, la cohésion absolue est de 45000 livres pour un pouce carré, ou de 2,96 fois 15300 livres.

On voit, en comparant les expériences, que la différence entre le fer d'Adelphi et celui d'Old-

Park est fort petite ; mais que le dernier est supérieur, principalement en force absolue, puisqu'il a fallu 184 livres pour le rompre, tandis qu'un poids de 173 livres a suffi pour faire rompre celui d'Adelphi.

Fer d'Alfreton.

59e. Les dimensions de ces barreaux n'offraient aucune différence sensible avec celles des précédens : épaisseur 0,65 de pouce, largeur 1,3 pouce ; distance entre les appuis 2,9 pieds.

POIDS appliqué.	Effet sur le premier barreau.	Effet sur le deuxième barreau.
60	Infl. 0,1 pouce.	Infl. 0,1 pouce.
120	0,2	0,195
162	0,27 nulle altér. p.	0,28 nulle altérat.
182	0,31 légère altérat.	0,325 légère altér.

Ce fer diffère très peu de celui d'Old-Park ; il est un peu plus flexible, mais très peu. Il paraissait résister davantage à la lime, et être aussi moins malléable, car au lieu de s'étendre, il cassait sous le marteau. Sa fracture différait à peine de celle du fer d'Adelphi.

Ces barreaux portaient 162 livres, sans alté-

ration permanente, et leur courbure moyenne était de 0,275 de pouce. Ainsi, cette fonte porterait

sur un pouce carré et sans altération permanente....	15390 livres.
L'allongement par cette charge serait de......	$\frac{1}{1131}$ ou 0,00088
Module d'élasticité pour une base d'un pouce carré	17406000 livres,
Module de résilience......	13,6,
Pesanteur spécifique.......	7,04.

Le second barreau fixé à un bout, rompit sous un poids de 153 livres, suspendu à deux pieds du point d'arrêt; la fracture se fit près de l'extrémité fixée, et le métal était sain et parfait dans cet endroit.

La force absolue de cohésion, d'après cette expérience, est de 40000 livres pour un pouce carré, ou 2,63 fois 15300 livres.

Cette espèce de fonte est très douce, et serait excellente pour des ouvrages qui n'exigeraient pas une grande force; c'est le fer le plus faible que j'aie éprouvé.

Fer de rognures.

59f. Ces barreaux ont été coulés avec du vieux fer; leur surface était inégale, et indiquait cette

irrégularité de retrait, dont j'ai parlé dans l'Introduction. Épaisseur des barreaux 0,65 de pouce; largeur 1,3 pouce; distance entre les appuis 2,9 pieds.

POIDS appliqués	Effet sur le premier barreau.	Effet sur le deuxième barreau.
60	Infl. 0,09 pouce	Infl. 0,09
120	0,18	0,18
162	0,25 nulle altérat.	0,255 nulle altér.
180	0,28 nulle altérat.	0,285 nulle altér.
190	0,3 légère altér.	0,3 légère altér.
210	0,34 alt. per. 0,005	0,34 alt. p. 0,004

Ce fer était très dur à la lime, et très fragile; le marteau, quand on le frappait sur le tranchant, en faisait voler des fragmens au lieu d'y former des dents comme sur les échantillons précédens.

La fracture d'un gris léger et terne, sans brillant métallique; la fonte peu uniforme, le grain fin.

Ces barreaux n'ont paru perdre aucune partie de leur force élastique sous un poids de 180 livres. Mais quelle que soit la cause de leur grande force, il ne serait certainement pas sûr de calculer sur elle dans la pratique. Je regarderai

donc le poids de 162 livres, et la courbure de 0,25 de pouce, comme les données sur lesquelles il faut établir le calcul; en conséquence,

La force d'un pouce carré sans altération permanente est de....	15390 liv.
L'allongement qui serait produit par cette force de..........	0,0008
Le module d'élasticité pour une base d'un pouce carré de.........	19130000 liv.
Le module de résilience de......	12,4
La pesanteur spécifique de......	7,219.

Fixé à l'un de ses bouts avec une portée de deux pieds, le second barreau se rompit sous 168 livres, une fracture se fit près du point où il était encastré; mais le barreau se sépara en plusieurs morceaux.

La force absolue de cohésion d'un pouce carré répond donc à 44000 livres, ou à près de 2,9 fois la charge que je regarde comme étant la plus considérable que la fonte doive jamais avoir à soutenir.

Concluons des données précédentes, que la fonte de cette espèce est d'un douzième moins flexible que celle faite de fer de Old-Park, qu'elle est d'un douzième moins forte pour résister à un corps en mouvement, et qu'elle a moins de force absolue dans le rapport de 168 à 184.

Mélange de parties égales de fer d'Old-Park et de vieux fer de bonne qualité.

59[g]. Les barres formées avec ce mélange étaient nettes, et indiquaient une union parfaite entre les parties ; leur épaisseur était de 0,65 de pouce ; leur largeur de 1,3 pouce, et la distance entre leurs appuis de 2,9 pieds.

POIDS appliqués.	Effet sur le premier barreau.	Effet sur le second barreau.
72	Infl. 0,1 pouce	Infl. 0,1 pouce
140	0,2	0,2
162	0,24 nulle altérat.	0,245 nulle altérat.
182	0,27 nulle altérat.	0,28 nulle altérat.
202	0,3 légère altérat.	0,31 légère altér.
220		0,34 alt. per. 0,005
300		0,475 alt. per. 0,03.

Cette fonte était assez dure à la lime ; elle formait des dents sous le marteau, mais elle était courte et cassante ; sa fracture était d'une couleur grise plus légère et plus terne que celle du fer d'Old-Park ; son grain fin, serré et égal.

Ces barreaux n'éprouvèrent pas de changement permanent par une charge de 182 livres ; par conséquent le poids de 162 livres ne s'écarte

pas de la limite convenable. L'inflexion causée par ce poids est de 0, 245; en conséquence on peut établir les propriétés de cette fonte ainsi qu'il suit :

Force sur un pouce carré, qui ne produit pas d'altération permanente .... 15390 livres.
Alongement par cette force... 0,00078
Module d'élasticité pour une base d'un pouce carré.......... 19514000 livres.
Module de résilience........ 12,1
Pesanteur spécifique......... 7,104.

Le second barreau ayant été fixé par un bout, rompit sous 174 livres, la longueur du levier étant de 2 pieds; sa fracture se fit auprès du point arrêté; par conséquent la cohésion absolue sur un pouce carré est de 45600 livres, ou, à très peu près, trois fois la charge de 15300 livres.

Il entre évidemment dans ce mélange une trop grande proportion de vieux fer; il est un peu inférieur en qualité à notre échantillon moyen (art. 45.). Environ une partie de vieux fer sur deux de fer de gueuse d'Old-Park, serait une meilleure proportion. Il est digne de remarque que la force absolue de cette fonte est presque un terme moyen entre celles des deux sortes qui fc ment le mélange, et qu'il en est de même de la pesanteur spécifique.

Alliage de seize parties de fer de gueuse, et d'une partie de cuivre.

59[h]. On a prétendu qu'on améliore beaucoup le fer en y mêlant une petite portion de cuivre; il était donc à désirer que cet effet fût constaté, ainsi que l'avantage qu'il y a à employer cet alliage, si toutefois cet avantage existe. Les échantillons avaient 0,675 de pouce d'épaisseur, sur 1,25 pouce de large; les supports étaient éloignés de 2,9 pieds; la charge qui était présumée ne devoir pas produire d'altération permanente, était de 167 livres.

POIDS appliqués.	Effet sur le premier barreau.	Effet sur le deuxième barreau.
60	Infl. 0,1 pouce	Infl. 0,1 pouce
122	0,2	0,2
167	0,275 nulle altérat.	0,265 nulle altérat.
180	0,3 nulle altérat.	0,29 nulle altérat.
203	0,34 alt. per. 0,003	0,325 alt. per. 0,002
300	0,5	

Ces barres cédaient facilement à la lime, mais la fonte était courte et s'émiettait sous le marteau. Je m'attendais à les trouver plus ductiles; la fracture était d'un gris sombre; le grain fin et plus serré que celui du fer d'Old-Park, avec moins de brillant métallique.

Le poids de 167 ne produisit aucun degré d'altération permanente; la courbure moyenne sous cette charge a été de 0, 27 de pouce. Admettons que ce soit le poids le plus fort dont on doive charger cette fonte dans la pratique, nous aurons:

Force sur un pouce carré qui ne produit pas une altération permanente	15300 livres.
Alongement sous cette charge.	0,0009
Module d'élasticité pour une base d'un pouce carré..........	16921000 livres.
Module de résilience..........	13,8
Pesanteur spécifique	7,13

Afin d'éprouver la force absolue, le second barreau fut fixé par un bout, et l'on suspendit à l'autre bout un plateau de balance; des poids y ayant été ajoutés successivement jusqu'à ce qu'il se rompît, la fracture n'eut lieu que sous 194 liv.; elle se fit auprès du bout fixé.

D'après cette expérience, la force de cohésion d'un pouce carré est de 52000 livres, ou de 3, 4 fois la charge qui n'occasionnerait pas une altération permanente.

Il paraît donc que le cuivre augmente la force et l'extensibilité du fer.

Expériences sur la résistance à la tension.

60. Suivant une expérience faite par Muschenbroëk, un parallélépipède dont le côté était de 0,17 pouce du Rhin, fut rompu par 1930 livres (1); or le pied du Rhin = 1,03 pieds anglais, et la livre contient 7088 grains. Cette expérience, réduite aux poids et aux mesures d'Angleterre, donne donc 63286 livres pour le poids qui briserait un pouce carré de fonte.

61. Une expérience faite par le capitaine S. Brown a été décrite dans les termes que voici : « Une barre de fonte du pays de Galles de 1 $\frac{1}{4}$ pouce d'équarrissage et de 3 pieds 6 pouces de longueur, a exigé, pour la briser, un poids de 11 tonneaux et 7 quintaux (25424 livres avoir du poids); fracture exactement transversale, sans être réduite en aucune partie. La fonte était froide quand elle rompit, les molécules fines, la couleur d'un gris bleuâtre et sombre (2).

La machine employée par le capitaine Brown

---

(1) Muschenbroëk's introd. ad phil. nat. vol. 1, p. 417, 1762.

(2) Essay on the strength of timber, etc., by M. Barlow, 1817, p. 235.

pour ses expériences, étant construite sur le même principe que le pont à bascule, M. Barlow pense qu'elle peut ne pas indiquer toute la force réelle; on peut aussi remarquer que, pour obtenir la force réelle de cohésion, la résultante de la force exercée doit coïncider exactement avec l'axe de la barre; car, à cet égard, un écart qui ne serait que d'un sixième de la largeur de cette barre, diminuerait la force de moitié.

Il paraît, d'après cette expérience, que 16265 liv. peuvent briser un pouce carré de fonte.

62. Dans quelques expériences faites par M. G. Rennie, la force ne pouvait pas être également exercée sur la section de fracture; cela paraît évident par la description de l'appareil qu'il a employé, et, par conséquent, la force exercée était moindre que la cohésion de la section. Les échantillons étaient de 6 pouces de long, et de 0,25 de pouce en carré à la place de la fracture; une barre coulée horizontalement a exigé une force de 1166 livres pour la briser; une barre coulée verticalement a exigé pour le même résultat une force de 1218 livres (1).

---

(1) Phil. trans. for 1818, part. 1, on phil. Mag. vol. LIII, p. 167.

Dans la fonte coulée horizontalement, la force était égale à 18656 livres par pouce carré; et dans celle coulée verticalement la force était égale à 19488 livres par pouce carré.

Expériences sur la résistance à la compression sur des longueurs très petites.

63. La force de résistance que la fonte oppose à la compression a été jadis fort exagérée: M. Wilson estimait la force nécessaire pour aplatir un pouce cube de fer, égale à 1000 tonneaux ou à 2240000 livres, avoir du poids; et dans la description d'une expérience de M. W. Reynolds, de Ketley, Shropshire, on trouve qu'un cube de fonte, d'un quart de pouce de côté, de l'espèce appelée métal à canons, a exigé 448000 livres pour l'aplatir; mais M. Telford, pour qui ces expériences ont été faites, a eu la complaisance de me communiquer les résultats exacts du travail de M. Reynolds, et il paraît

qu'un cube d'un quart de pouce, de fonte grise douce, a été écrasé par 80 quintaux.................. = 143,360 livres;

qu'un autre, de l'espèce de

fonte dite métal à canons,
a été écrasé par 200 quintaux.................. = 350400 livres.

64. Tel était l'état de nos connaissances sur ce sujet important, quand M. G. Rennie communiqua à la société royale une suite précieuse d'expériences qui ont été publiées dans la seconde partie de ses transactions pour 1818.

Expériences de M. Rennie sur des cubes tirés du milieu d'une pièce d'un volume considérable, dont la pesanteur spécifique était de 7,033.

	côté du cube	a été écrasé par		force par pouce carré
Nos 1.	0,125 pou.	1454 liv.	plus haut résultat	93056 l.
2.	0,125	1416	plus bas *idem*	74624
3.	0,25	10561	plus haut *idem*	168976
4.	0,25	9020	plus bas *idem*	144320.

Expériences sur des cubes provenant de fonte coulée horizontalement, et dont la pesanteur spécifique était de 7,113.

	côté du cube	a été écrasé par		force par pouce carré
Nos 1.	0,25	10720	plus haut résultat	171520
2.	0,26	8699	plus bas *idem*	139184.

Expériences sur des cubes coulés verticalement. Pesanteur spécifique 7,074 (1).

	côté du cube	a été écrasé par	force par pouce carré
Nos 1.	0,25 pou.	12665 liv.	plus haut résultat 202640
2.	0,25	9844	plus bas résultat 157540

Expériences sur des échantillons de différentes longueurs.

	aire	longueur	écrasé par			
Nos 1.	0,125×0,125.	0,75 pouc.	1743 liv.	=111552 liv.	par pouc. car.	
2.	0,125×0,125.	1	1439	=92096	*id.*	*id.*
3.	0,25 ×0,25.	0,5	9374	=149984		
4.	0,25 ×0,25.	1	6321	=101136.		

Ces expériences ont été faites sur une trop petite échelle pour pouvoir mettre dans l'exécution cette précision que la théorie fait voir comme étant essentielle dans ces sortes d'opérations; il reste donc encore beaucoup à faire pour ceux qui voudront se livrer à de nouvelles expériences. Il ne paraît pas que, dans les limites où celles-ci ont été faites, une augmentation de longueur ait eu un effet sensible sur le résultat.

---

(1) Il paraît assez singulier que la pesanteur spécifique de la fonte coulée verticalement soit moindre que celle de la fonte coulée horizontalement.

J'ai choisi les résultats les plus élevés et les plus bas, et, parmi les expériences uniques, celles qui ont été faites sur de plus grandes différences de longueur; M. Rennie a fait en tout 39 expériences sur la résistance de la fonte de fer à la compression (1).

Expérience sur la résistance à la compression des barreaux d'une longueur considérable.

65. Les seules expériences de cette espèce, que je connaisse, ont été faites par M. Reynolds, et sont décrites ainsi qu'il suit, dans l'ouvrage de M. Banks sur *la force des machines*. Pag. 89 (en anglais).

« Expériences sur la force du fer de fonte, faites à Ketley, en mars 1795. Les barres provenaient toutes du même fourneau à air; toutes avaient été coulées à la fois; le fer en était très doux, et pouvait être coupé ou limé avec facilité. »

« 1re exp. Deux barreaux d'un pouce d'équarrissage, et de 3 pieds exactement de longueur, furent placés sur une barre horizontale de manière à se réunir dans un même point à leur sommet où était suspendu un plateau de balance; ces

---

(1) Philosophical transactions for 1818, part. 1, or phil. Mag. vol. LIII, p. 164.

barreaux faisaient avec la base un angle de 45°, et par conséquent ils faisaient entre eux au sommet un angle de 90°. Un poids de 7 tonneaux (15680 liv. av. du poids) fut suspendu au point où ils se réunissaient, et on l'y laissa pendant 16 heures; les barres alors se trouvèrent un peu courbées, mais très légèrement. »

« 2[me] exp. Deux autres barres de la même grosseur, furent placées de même, mais faisant un angle de 22° ½ avec la base horizontale; celles-ci portèrent 4 tonneaux (8960 liv.) sur le plateau; mais en les chargeant un peu plus, une des deux barres, qu'on avait remarquée comme étant un peu courbée quand on la plaça, se rompit. »

66. Par les principes de Statique (1),

$$2 \sin 45^\circ : R :: 15680 \text{ liv.} : 11087 \text{ liv.}$$

égale la pression dans la direction de chacune des barres de la première expérience; et

$$2 \sin 22^\circ \tfrac{1}{2} : R :: 8960 \text{ liv.} : 11709 \text{ liv.}$$

égale la pression dans la direction de chaque barre de la seconde expérience.

Si nous supposons que la direction de la force, dans ces expériences, se trouvait exactement dans l'axe, alors, suivant l'équation art. 242,

(1) Gregory's mécanics, vol. I, art. 43.

la pression la plus considérable dans la direction de l'un des barreaux, ne devait pas surpasser 5840 livres; mais si la direction de la pression s'écartait de l'axe de la moitié de l'épaisseur du barreau, ce qui a dû très probablement arriver, la plus grande force, dans la construction annoncée, n'aurait pas dû dépasser 2720 liv. *V.* art. 241.

Expériences sur la résistance à la torsion.

67. *Tables des principales expériences sur la force du fer de fonte pour résister à la torsion.*

Nos		Levier.	Longueur.	Côté ou diam. en pouce	Poids qui a fait romp.	Résis. calc. sans détr. la force élast.	Rapport de la résist. calculée avec le poids qui a fait rompre.
1	Barre placée verticalement, fixée par un bout, et tordue au moyen d'une roue à l'autre bout.	1 pied.	Inconn.	1×1	631 l.	150	1 : 4,2
2	Cylindre fixé à un bout, tordu par un levier à l'autre bout,	14,2 pou.	2,75	2	250	73,7	1 : 3,39
3	*Idem.*	14,2	3 ¼	2,25	384	111	1 : 3,46
4	....	14,2	3	2,50	408	140	1 : 2,9
5	....	14,2	3	3,75	700	184	1 : 3,8
6	....	14,2	4	3,25	1170	309	1 : 3,78
7	....	14,2	5	3,50	1240	402	1 : 3,08
8	....	14,2	5	3,75	1662	481	1 : 3,45
9	....	14,2	5	4,	1938	580	1 : 3,34
10	....	14,2	6	4,25	2153	713	1 : 3,02

L'expérience n° 1 a été faite par M. Banks (1). Les autres l'ont été par M. Dunlop de Glasgow : les nos 4 et 7 étaient défectueux (2). Quelques expériences faites sur une très petite échelle par M. George Rennie, n'ont pas été placées ici parce qu'elles ne sont pas assez détaillées pour être comparables (3).

Je suis redevable à MM. Bramah des détails de quelques expériences nouvelles et intéressantes sur la torsion, et qu'ils avaient faites dans le but de s'assurer du degré de confiance qu'ils devaient avoir dans les conclusions tirées de la théorie et de l'expérience par les auteurs qui ont traité ce sujet. Ils cherchaient aussi à connaître l'effet que produit sur la qualité de la fonte l'alliage d'une petite quantité de cuivre.

J'ai rangé en forme de table les résultats de ces expériences, afin qu'on puisse plus aisément les comparer, et j'ai ajouté deux colonnes à cette table pour faire voir jusqu'à quel point ces expériences s'accordent avec les règles de cet ouvrage.

Les barres étaient fortement fixées par un bout

---

(1) Power of machines.

(2) Dr Thomson's Annals of philosop. vol. XIII, p. 200—203.

(3) Magasin philosophique, vol LIII, p. 168.

dans une position horizontale; la force était appliquée à l'autre bout et agissait avec une longueur de levier de 3 pieds. Pour prévenir l'effet de la pression latérale, la barre était portée librement sur un appui à l'extrémité sur laquelle la force agissait.

Nos		Long.	Côté.	poids.	Angle de torsion.	Angle. calcul. de tors.	Rapport de l'axe qui ne cesse d'aller avec le poids.
1	Barreau carré fait d'un alliage de seize parties de fer sur une de cuivre.	1 pi.	ponc. 1,0625	1661 215 111	7°,5 rompu 6°,5	4°,25 5°,7	1 : 3,6
2	Barreau de même espèce.	2	1,0625	213 213	17° rompu	10,7	1 : 3,5
3	Barreau carré fait de parties égales de fontes d'Adelphi, d'Alfreton et de vieux fer.	1	1,0625	217 330	14° rompu	5,6	1 : 5,5
4	Barre de même espèce que la précédente.	1	1,0625	166 310	7°,5 rompu	4,25	1 : 5,16
5	Autre barre de même espèce.	2	1,0625	164 213 280	12°,5 18 28	8,4 10,9 14,3	
6	Barre carrée de fonte.	1	1	237	Rompu en faisant glisser un des poids rompu		1 : 4,2
7	Barre carrée de même espèce.	2	1	218	rompu		1 : 4,35

La comparaison entre notre règle (équation 4, art. 225) et la force qui a fait rompre ces échantillons, faite dans la dernière colonne de cette table, est fort satisfaisante; elle se rapporte aussi

presque entièrement à des expériences précédentes sur cette sorte de pression, et qui se trouvent dans le premier tableau de cet article.

L'angle de torsion observé est très irrégulier, et, dans toutes ces expériences, il surpasse de beaucoup l'angle calculé par l'équation 14, art. 277[b]. Mais il faut remarquer que cet angle a été mesuré après que le poids a été porté bien au-delà du degré où l'on sait que la courbure augmente dans une proportion bien plus grande que la charge, et que rien n'a été compté pour la compression qui a eu lieu aux points d'appui. M. Duleau, dans ses expériences sur le fer forgé (Voy. sect. 6, art. 68 de cet essai), a tenu compte de ces diverses sources d'erreurs, en prenant pour mesure de torsion l'angle par lequel repassait la barre quand le poids était retiré (1); et la formule appliquée à ses expériences donne une erreur en excès, tandis qu'ici elle est par défaut. Je ne chercherai donc pas à faire accorder les règles avec l'une ou l'autre suite d'expériences, parce que je sais que la courbure serait trop forte d'après les expériences de MM. Bramah; et que, dans cette supposition, les règles seront à peu près exactes,

---

(1) Essai sur la résistance du fer forgé, p. 49.

tandis que si celles de M. Duleau sont les plus exactes, tout ce qu'il en résultera, c'est que les pièces de fonte seront faites un peu plus fortes que cela n'est nécessaire.

Expériences sur l'effet de la force d'impulsion.

68. La hauteur dont un poids pourrait tomber sur une pièce de fonte de fer sans en détruire la force élastique, a été calculée par l'équation 5, art. 264, pour les échantillons de 0,9 de pouce carré dont on s'est servi dans les expériences de l'art. 84. Des épreuves multipliées ont été faites en opérant la chute de cette hauteur sans produire un effet sensible. On fit alors tomber les poids d'une hauteur double de celle qui a été calculée, et à chaque fois que le coup fut répété, la courbure de la barre fut augmentée d'environ un centième de pouce. Il ne fut pas possible de mesurer l'effet de chaque coup avec beaucoup d'exactitude, mais un petit nombre d'épreuves fit prendre à la barre assez de courbure pour qu'on pût facilement l'apercevoir. J'espère être quelque jour en état de pouvoir recommencer ces expériences avec un appareil propre à mesurer avec précision le degré d'altération permanente. On

trouvera les règles pour la pratique aux articles 266 — 303.

Comment on peut distinguer les propriétés de la fonte par sa fracture.

68[a]. Je terminerai cette section par quelques remarques sur l'aspect que présente la fonte nouvellement fracturée, dans la vue de distinguer ses propriétés.

Deux caractères de la fonte offrent un moyen de juger, jusqu'à un certain point, ses propriétés : ces caractères sont la couleur et le brillant de la surface fracturée.

La couleur de la fonte offre diverses nuances de gris; quelquefois elle approche du blanc terne, quelquefois du gris de fer avec des taches d'un gris noir.

Le brillant de la fonte varie dans son espèce et dans son degré. Il est quelquefois métallique, montrant comme de petits fragmens de plomb nouvellement coupés, distribués sur la fracture; et son degré, dans ce cas, dépend du nombre et de l'étendue des parties brillantes. Mais, dans quelques fontes, le brillant semble être dû à des facettes de cristaux disposées en rayons. Je donne à cette espèce de brillant le nom de cristallin.

Dans la fonte très-dure, la couleur de la fracture est un gris de fer foncé et uniforme, ayant beaucoup de brillant métallique. Quand la couleur est la même, mais qu'il y a moins de brillant métallique, la fonte est plus douce, mais elle se divise plus facilement en petits fragmens sous le marteau, et il faut moins de force pour la rompre. Si la surface est sans brillant et la couleur sombre et tachetée, on aura une fonte douce de l'espèce la plus faible.

Si, au contraire, la couleur est d'un gris clair avec beaucoup de brillant métallique, le fer sera dur et tenace; cette sorte de fonte est toujours peu flexible. Mais lorsque la couleur est claire, et qu'il n'y a que peu de brillant métallique, la fonte est dure et fragile; elle l'est encore plus quand la fracture est d'un blanc terne; et dans son plus grand degré de dureté la fracture est d'un blanc grisâtre avec des rayons d'un brillant cristallin.

Il peut y avoir quelques exceptions à ces règles, mais j'espère pourtant qu'elles seront très-utiles à ceux qui s'occupent d'une partie qui devient tous les jours plus importante.

SECTION VI.

EXPÉRIENCES SUR LE FER FORGÉ ET SUR D'AUTRES MÉTAUX.

Expériences sur la résistance du fer forgé à la courbure.

68[b]. On a fait un plus grand nombre d'expériences sur le fer malléable que sur tout autre métal; mais celles qui ont été faites sur la résistance latérale sont dues principalement à des savans étrangers à l'Angleterre. J'en choisirai un petit nombre parmi celles de M. Duleau afin de les comparer; mais je vais d'abord entrer dans le détail de quelques-unes de celles que j'ai faites personnellement.

Celles qui suivent ont été faites sur des barreaux de fer anglais et suédois; ces barreaux étaient supportés aux extrémités, et le poids était placé au milieu entre les appuis; ils avaient exactement 6 pieds (1,83 mètres) de longueur, et les appuis étaient à la distance de 66, 5 pouces (1,69 mètre).

Fer Anglais.

Espèce de barreau.	Poids des bar. en liv. av. dup.	Courbure par 58 livres.	114 liv.	170 livres.	Poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré.
Barreau de 1,25 pouces d'équarrissage.	33 l.	0,0625	0,1	0,1875	27240000 l.a.d.p.
1,125	25	0,125	0,25	0,375	20830000
1	20	0,15	0,32	0,5	24990000
Fer rond 1,25 de diamètre.	24	0,125	0,25	0,375	23154000
1 *idem.*	17	0,25	0,5	0,8	26500000
		Poids moyen du mod.			24542800
				ou environ	11155800 kilog.

Fer de Suède.

Espèce de barres et dimension.	Poids de 6 pieds en long	Courbure par 58 livres.	114	170	Poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré.
Barre carrée de 1,2	32	0,0625	0,125	0,19	32000000 l. av. du p.
1,125	27	0,08	0,161	0,25	31245000
1	33	0,125	0,25	0,375	33328000
		poids moyen du mod.			32191000
				ou environ	14632000 kilogr.

Les barres de fer de Suède variaient beaucoup dans leurs dimensions; celles-ci, telles qu'on les

a portées à la première colonne de la table, ont été prises à l'endroit le plus fort de chaque barre. La tenacité plus grande en apparence du fer suédois doit être en partie attribuée à cette cause; mais elle est due bien plus encore à la manière dont il est forgé, qui lui donne plus de densité et plus de force élastique. Si le fer anglais avait été battu sous le marteau de la même manière, il aurait peut-être été aussi dense et aussi fort, et tout aussi propre aux ouvrages les plus délicats que le fer de Suède. Tous ces échantillons ont été essayés dans le même état où ils sont quand ils sortent des forges; les expériences ont été faites au mois de juillet 1814.

68 ᶜ. L'objet des expériences que j'ai faites ensuite sur le fer forgé, était de déterminer la force capable de produire une altération permanente; j'ai voulu aussi m'assurer de l'effet qu'on obtiendrait en chauffant le fer de manière à lui donner une densité uniforme, et connaître l'effet de la température sur sa force de cohésion. Dans ce but, M. Barrow choisit pour moi une barre qu'il regardait comme de très bon fer, et qui portait la marque *Penydarra.* Un morceau de 38 pouces (965 millim.), et pesant 10,4 livres (4,7 kilog.), fut coupé sur cette barre dont l'équarrissage ne différait pas sensiblement d'un pouce. Voici les

résultats que j'ai eus en la faisant porter sur des appuis éloignés de 3 pieds (914 millimètres) et en la chargeant dans le milieu.

POIDS.	Courbure au milieu de la barre telle qu'elle était sortie de la forge.	Courbure au milieu quand la barre eut été uniformément chauffée et refroidie lentement.
126 livres	0,05 pouces	0,059
252	0,10	0,117
310	0,12	0,145
330	0,13	0,154

Dans l'un et l'autre état, elle porta le poids de 330 livres sans effet sensible, quoiqu'on l'y eût placé, et qu'on l'en eût ôté à différentes reprises ; mais dans les deux cas, l'addition d'un poids de 20 livres causa une altération visible dans son élasticité. Cette altération était même sensible dans la barre chauffée, quand on ajouta 10 livres aux 330.

On trouvera par l'art. 79, que ce fer pourrait porter sans altération permanente 17000 livres par pouce carré (7787 kilo. par 645 mill. carrés).

Par l'art. 87, que son extension dans son second état où il se trouve adouci, va à 0,00071 de sa longueur.

Et par l'art. 74^b, que le module d'élasticité est

de 24920000 livres pour une base d'un pouce carré. Le module avant que le fer ne fût adouci, était de 29500000 livres.

68 [d]. Afin d'éprouver l'effet de la chaleur sur la diminution de la force de cohésion du fer forgé, je fis chauffer la barre jusqu'à 212° du thermomètre de Fahrenheit (80° R.), ayant tout préparé d'avance pour qu'on pût placer sur cette barre un poids de 300 livres à l'instant même où elle serait posée sur ses appuis, et pour que l'index se trouvât ajusté à une des divisions de l'échelle. Cette opération ayant été exécutée dans une chambre chaude et bien close, avec le moins de perte de chaleur possible, on ouvrit la fenêtre, et l'on observa l'effet du refroidissement. L'inflexion diminua à mesure que la barre se refroidit, mais on laissa le poids pendant près de deux heures, et jusqu'à ce que la barre fut parfaitement refroidie, et à la même température que la chambre où le thermomètre se tenait à 60° (12° 44 R.). Chaque division de l'échelle de l'index est d'un centième de pouce, et autant que je pus m'en assurer à l'aide d'une loupe, l'inflexion avait diminué des trois quarts d'une division, et l'index parcourut 14 divisions lorsque le poids eut été retiré; on doit en conclure que, par une élévation de température égale à 212—60 degrés ou à 152° (67°6 R.),

le fer perd environ une vingtième partie de sa force de cohésion; c'est 0,00033 par degré de Fahrenheit, et 0,00075 par degré de l'échelle de Réaumur.

Expériences de M. Duleau (1).

68 *. La plupart des expériences de M. Duleau ont été faites avec du fer forgé de Périgord. Quelques-unes des pièces d'échantillon ont été battues au marteau pour les rendre régulières; d'autres ont été éprouvées telles qu'elles étaient sorties des grosses forges. On a distingué les premières par un *h* placé à la suite du numéro de l'expérience, qui est le même qu'on trouve dans l'ouvrage de M. Duleau. Ces expériences sont divisées en deux classes; dans la première se trouvent celles où l'on a observé que la charge avait fait perdre de l'élasticité aux barres éprouvées; la seconde classe comprend celles où elles n'ont pas perdu d'élasticité. Les extrémités des pièces reposaient sur des appuis, et la charge était suspendue au milieu de la longueur. Toutes les expériences que j'ai

---

(1) Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé, in-4°, Paris, 1820, chez Bachelier, libraire, quai des Augustins.

choisies ont été faites sur du fer de Périgord.

Numéros des expériences	Distance entre les appuis.	Largeur.	Épaisseur.	Flèche decourbure au milieu.	Poids qui l'a produite.	Extension en pouces de la longueur.
1re classe.	millimètres	millimètres	millimètres	millimètres	kogr.	
15	2000	45	12	54	45	0,000972
17*h*	2000	40	11,5	52,5	25	0,000906
36*h*	3000	60	20	33	50	0,000441
2e classe.						
21*h*	2000	11,5	40	15,03	90	0,000902
22	3000	77	14	72	50	0,000672
29*h*	3000	15	25	70	50	0,001167

La dernière colonne fait voir quelle extension prend une unité de longueur par le poids qui la presse, suivant le calcul de M. Duleau. Ma formule, art. 87, donne un résultat semblable. L'extension que le fer forgé peut prendre sans perdre de sa force d'élasticité, est suivant mes expériences, de 0,00071; dans l'expérience nº 36, de M. Duleau, l'élasticité a été altérée par un allongement de 0,000441; au contraire, dans son expérience nº 29, elle ne l'a pas été par une extension de 0,001169 de la longueur. C'est une irrégularité considérable, mais telle pourtant qu'on peut s'y attendre dans des expériences faites sur des échantillons aussi longs et aussi pesants relativement à leur épaisseur; dans toutes les expériences de cette nature, l'effet du poids

de la pièce doit être observé. Il est très essentiel aussi que les points d'appui soient fixés d'une manière parfaitement solide, ou que la courbure soit mesurée d'un point dont la position reste invariable par rapport aux points d'appui.

Le poids moyen du module d'élasticité, déduit des expériences précédentes, est de 28000000 de livres, avoir du poids, pour une base d'un pouce carré anglais (1272727 kilogrammes sur une base de 645 millim. carrés). L'expérience 22, donne le plus haut module = 31864000 livres, et le n° 17 donne le plus bas = 28974000 livres; il paraît donc que la force élastique du fer de Périgord diffère assez peu de celle du fer anglais.

M. Duleau conclut qu'une barre de fer forgé peut être chargée jusqu'à ce que l'alongement, au point de plus grande résistance, soit égal à 0,0003 de sa longeur primitive, sans perdre son élasticité; et que le poids, qui sur un pouce carré peut produire cette extension, est de 8540 livres, avoir du poids (6 kilogrammes par millimètre carré) : dans plusieurs de ses expériences l'alongement a été trois fois plus grand, sans altérer l'élasticité.

Je me suis proposé de fixer la limite qui doit produire, dans une matière de bonne qualité, une altération permanente de sa force d'élasticité;

c'est-à-dire, d'établir le point qu'il ne faut pas dépasser, mais dont on peut approcher autant que le jugement l'indiquera, quand on sera sûr d'avoir déterminé la plus grande charge que l'on puisse faire porter à une pièce. Quand la charge à soutenir doit être considérable, il est aussi économique que convenable d'employer de bons matériaux. Aucune règle ne peut s'appliquer à ceux qui sont défectueux; car comment mesurer l'effet d'une paille dans le fer malléable, d'une bulle d'air dans la fonte, d'une fente dans la pierre, d'un nœud ou de la pourriture dans le bois? Mais l'existence de la plupart de ces défauts peut se reconnaître à l'inspection des matériaux mêmes; et comme le plus grand effort s'exerce sur leur surface, ceux de ces défauts qui altèrent davantage la force, sont toujours les plus apparens.

Rondelet (1), Aubry et Navier (2) ont aussi fait des expériences sur la courbure du fer forgé; elles sont d'accord avec les principes développés dans cet essai.

---

(1) Traité de l'art de bâtir, tome IV, p. 509 et 414.

(2) Construction des ponts, par Gauthey, tome II, p. 151.

Expériences sur la résistance à la tension.

68^{f}. On a fait un très grand nombre d'expériences sur la résistance du fer forgé à la tension; cette résistance a été trouvée dans beaucoup d'expériences, de 80000 livres par pouce carré (56 kilogrammes par millim. carré); et dans un très petit nombre au dessous de 50000 livres; mais alors le fer était défectueux. La force moyenne du bon fer paraît être d'environ 60000 livres (environ 42 kilogrammes, par millimètre carré); et suivant cette évaluation la force qui produirait une altération permanente, est à celle qui briserait une barre comme 17800 : 60000, ou à peu près comme 1 : 3,37. Ainsi, quel que soit le principe d'après lequel Emerson a conclu que des matériaux ne doivent jamais être chargés de plus du tiers ou du quart du poids qui pourrait les briser, sa conclusion s'accorde avec les lois de la résistance.

Des expériences sur la force absolue du fer forgé ont été faites par Muschenbroëk, Buffon, Emerson, Perronet, Soufflot, Sickingen, Rondelet, Telford, Brown et Rennie. Celles de MM. Telford et Brown ont été faites très en grand, et sont décrites fort en détail dans l'*Essai de Barlow*,

sur la force des bois de construction, auquel je renvoie le lecteur.

Expériences sur la résistance à la compression.

68ᵍ. On n'a fait que très peu d'essais sur cette espèce de résistance, et à raison de circonstances qui demandent, dans les expériences de cette nature, une attention dont les auteurs de celles qui ont été faites, ne paraissent pas avoir eu l'idée, nous n'en pouvons pas faire usage dans l'explication de nos principes, à moins que ce ne soit pour faire voir que lorsque nous considérons la direction de la force comme répondant à peu près à l'une des faces d'un barreau, nous raisonnons toujours d'après des données sûres; et d'après la nature des cas qui se rencontrent généralement dans la pratique, nous ne pouvons guères songer à employer un moindre excès de force que celui que donne notre règle.

Des expériences ont été faites, sur des pièces d'une longueur considérable, par Navier, Rondelet, Duleau; et la force nécessaire pour écraser de petits échantillons a été aussi constatée par Rondelet. Ce dernier a éprouvé des cubes dont les côtés variaient de 6 à 10,5 et 12 lignes, et des cylindres de 6,8 et 12 lignes de diamètre; la hau-

teur de chaque cylindre étant égale au diamètre. La résistance moyenne des cubes a été égale à 512 livres sur une ligne carrée; la résistance moyenne des cylindres a été de 515 livres par ligne carrée. 512 liv. sur une ligne carrée répondent à 70000 livres, avoir du poids, sur un pouce carré anglais. La force nécessaire pour écraser le cube était proportionnelle à l'aire, lorsqu'on eut quadruplé cette aire. Ce rapport ne différait pas d'un cinquantième, du résultat de l'expérience.

Rondelet a observé dans des expériences faites sur des barreaux de différentes longueurs, que quand la hauteur surpassait le triple du diamètre, le fer cédait et se courbait à la manière d'une longue colonne. Les expériences qu'il a faites sur des échantillons plus grands ne sont pas assez détaillése.

Les expériences de Navier ont été faites sur de longs barreaux; elles indiquent la force qui les a fait rompre, mais il ne dit pas s'ils ont fléchi peu à peu ou subitement.

Une barre de quelque matière qu'elle soit, sur laquelle un effort s'exerce très exactement dans la direction de son axe, peut porter un poids considérable sans apparence de courbure; mais ce poids est dans un équilibre mal assuré, et si mal qu'une barre dont la moindre dimension de

la section transversale est petite relativement à la longueur, peut être pliée subitement, et brisée sous le poids par l'effet de la plus petite force latérale. Dans ce cas, ce n'est pas tant l'étendue de la force qui produit la fracture, que l'action qu'elle exerce avant que la barre ait atteint le degré de courbure nécessaire pour lui résister. Le lecteur trouvera que le point de vue sous le quel je considère ce sujet, s'accorde avec l'expérience, principalement quand les matériaux sont très flexibles. Dans le fait, je ne pense pas que l'on puisse avoir une idée exacte du danger qu'il y á à surcharger une colonne, si l'on n'a jamais observé d'expériences de cette espèce.

M. Duleau a trouvé qu'une barre de fer forgé, de 11,8 pieds de long, et de 1,21 pouce carré (31 millimètres) a plié sous un poids de 4400 livres (2000 kilogrammes). Un autre échantillon d'environ 11 pieds huit pouces de long, de 2,38 pouces de large, et de 0,8 de pouce d'épaisseur, s'est doublé sous un poids de 2640 livres (1200 kilogrammes); cette pièce ne se courba pas d'une manière sensible avant de se doubler. Dans cette dernière expérience, ma règle (équation 15, art. 242) donne 875 livres (397 kilogrammes) pour la charge la plus forte qu'on dût faire por-

ter à cette barre dans la pratique; c'est à peu près le tiers du poids qui l'a fait doubler; le même résultat a lieu dans plusieurs autres cas.

Expériences sur la résistance à la Torsion.

68'. M. Rennie a fait quelques expériences sur la résistance du fer forgé à la torsion; le poids agissait avec un levier de deux pieds, et les pièces éprouvées avaient un quart de pouce d'équarrissage. La force agissait très près de l'extrémité fixée.

Du fer forgé anglais a été tordu
et brisé par .... 10 liv. 2 onces (4,6 kil.).
Du fer forgé de Suède l'a été par 9 liv. 8 onc. (1)(4,3 kil.).

Si nous pouvions supposer les pièces tellement arrangées, que la distance entre les centres d'action de la force et l'appareil qui les tient fixées, fût égale au diamètre de l'échantillon, alors notre formule donnerait 1,315 livre pour la force à laquelle une pareille barre pourrait résister sans altération permanente; c'est à peu près la huitième partie de celle qui a causé la fracture. Une irrégularité semblable a lieu dans les expériences

(1) Philosophical magazine, vol LIV. p. 168.

sur la torsion de la fonte, et elle est vraisemblablement la conséquence de ce que la force n'a pas été exactement appliquée, comme j'ai supposé qu'elle l'était.

Les expériences faites sur la résistance du fer forgé à la torsion par M. Duleau, l'ont toutes été dans le but de déterminer jusqu'à quel point ce fer pouvait être soumis à cette épreuve sans que sa force élastique se trouvât altérée. Les barreaux étaient fixés par un bout dans une position horizontale, et la force était appliquée au moyen d'une roue ou d'une forte poulie fixée à l'autre bout. Afin d'empêcher toute pression latérale, le bout auquel était fixée la roue portait librement sur un support. Il observa que les barreaux cédaient un peu à l'effort des poids, et il tint compte de cette quantité, en la déduisant des angles de torsion observés (1).

---

(1) La dernière colonne du tableau suivant indique l'angle calculé par la formule (équation XIII et XIV, art 227[b].). Il y a une erreur considérable en plus, d'après les expériences. Voyez l'art. 67, section V.

Nature des barreaux.	Long. de la Partie tordue.	Côté ou diamètre.	Angle de tors. par un poids de 10 kilog. et avec un lev. de 220 millim.	Angle de tors. calculé
	millim.	millimètres.	Degrés.	Degrés.
Fer rond anglais marqué DOWLAIS, tel qu'il sort des forges, cassant à chaud.	2400	19,83	4	10,4
Fer rond de Périgord, tel qu'il sort des forges.	2890	23,03	3	7
Fer carré anglais marqué C2, cassant à chaud.	4120	23×20	6,5	10
Fer carré de Périgord, tel qu'il sort des forges.	2520	20,35×20,35	3,08	5,8
Fer plat anglais.	2910	34×8,56	11,4	13,9

EXPÉRIENCES SUR DIVERS MÉTAUX.

Expériences sur l'Acier.

68[i]. Le module d'élasticité de l'acier a été déterminé pour la première fois par le docteur Young; la hauteur du module trouvé par sa méthode était de 8530000 pieds; ainsi le poids de ce module, pour une base d'un pouce carré, serait de 29000000 livres (20434 kilogrammes, sur une base d'un millimètre carré).

M. Duleau a fait quelques expériences sur la courbure des barreaux d'acier supportés aux extrémités et chargés en leur milieu. Je prendrai sur les vingt expériences qu'il rapporte (1) quatre expériences au hasard.

Description des échantillons.	Distance entre les appuis.	Largeur.	Épaiss.	Flèche sous 10 kilogr.	Poids du module d'élasticité en kilogr. sur un millimètre carré.
	millimèt.	millimèt.	millim.	millimèt.	
Acier fondu anglais, marqué HUNTSMAN, parfaitement calibré, non trempé mais cassant.	980	13,3	5,9	32,05	23960
Acier de cémentation d'Allemagne, marqué FORTSMAN, et de trois têtes de cerf, pour les rasoirs.	680	14,5	7,8	8	14094
Même espèce d'acier.	1845	28,5	21,9	2,6	20423
Même espèce d'acier.	1350	52	26,6	0,5	12600
	moyen pour l'acier d'Allemag.				15772

(1) Essai sur la résistance du fer forgé, p. 38.

Expérience sur un alliage de Cuivre et d'Étain.

68[k]. Une barre fondue d'un alliage de cuivre et d'étain, connu sous le nom de métal à canon, dont la pesanteur spécifique était de 8,152, a été rendue régulière, au moyen de la lime; son épaisseur était de 0,5 de pouce, et sa largeur de 0,7. Supportée par des appuis dont la distance était de 12 pouces, on a suspendu en son milieu un plateau de balance:

19 livres l'ont fait fléchir	de 0,01 de pouce,	
38	de 0,02,	
56	de 0,03,	
78	de 0,04,	
100	de 0,05,	Ce poids a été enlevé plusieurs fois sans qu'on se soit aperçu d'aucune altération dans l'élasticité.
120	de 0,06,	Chaque fois que la barre a été soulagée de ce poids, on a observé une altération d'environ 0,005.
200	de 0,17,	
234	de 0,34,	

320. La pièce a glissé entre les supports avec une inflexion d'environ 3 pouces, mais sans se rompre.

Nous supposerons donc que 100 livres sont le poids le plus fort que cette barre pût porter sans altération permanente, ce qui est égal ou équivalent à une pression de 7,2 kilogrammes, sur un millimètre carré, et donne un alongement de 0,00104 partie de la longueur (*Voyez* art. 79 et 87), et une force de cohésion de près de 24 kilogrammes par millimètre carré.

Calculant d'après cette expérience, nous trouvons que le module d'élasticité pour une base d'un pouce carré est de 9873000 livres (6957 kilogrammes, pour un millimètre carré); et comme la pesanteur spécifique de cet alliage est de 8,152, la hauteur du module en pieds est de 2790000 (850389 mètres).

La courbure augmente bien plus rapidement que dans la proportion du poids, aussitôt que la pression l'emporte sur la force élastique : un poids de 200 livres a plus que triplé l'inflexion qu'avaient produite 100 livres, au lieu de ne faire que la doubler.

Expérience sur le Cuivre jaune.

68[l]. Le docteur Young a fait quelques expériences sur ce métal, et il en a déduit la hauteur du module d'élasticité des planches de cuivre. Il l'a

trouvée de 4940000 pieds, ou de 18000000 de livres en poids, pour une base d'un pouce carré.

Du fil de laiton, de qualité inférieure, lui a donné, pour la hauteur du module, 4700000 pieds (1 million 432000 mètres) (1).

Aucun barreau de ce métal n'ayant été soumis à des expériences, je me procurai une barre de cuivre jaune fondu, et de bonne qualité, et je fis l'expérience suivante.

La barre fut rendue unie et régulière avec la lime; son épaisseur était de 0,45 de pouce, et la largeur de 0,7; la distance entre les supports de 12 pouces (304 millimètres); un plateau de balance était suspendu au milieu.

12 liv. ont fait prendre à la barre une inflexion.......	de 0,01 de pouce.	
23...............	de 0,02,	
38...............	de 0,03	Le poids fut enlevé plusieurs fois sans observer de perte d'élasticité.
52...............	de 0,04	
65...............	de 0,05	le poids ôté, alt. p. de 0,01.
110...............	de 0,18	
163. Le barreau glissa entre les supports, s'infléchit de plus de 2 pouces, mais ne cassa pas.		

(1) Nat. Phil., vol. II, p. 86.

Ainsi 52 livres semblent être à peu près la limite qu'il ne fallait pas dépasser, pour ne point amener de changement. Ce poids est équivalent à une pression de 6700 livres sur un pouce carré, et l'alongement correspondant est de 0,00075 de la longueur (art. 79 et 87). La force absolue de cohésion est de plus de 21000 liv. par pouce carré; le module d'élasticité, d'après cette expérience, est de 8930000 livres pour un pouce carré. La pesanteur spécifique de ce métal est de 8,37, d'où il résulte que la hauteur du module en pieds est de 2460000.

SECTION VII.

De la FORCE DE LA FONTE *et de sa courbure, quand elle* RÉSISTE A UNE PRESSION *ou à un poids.*

69. La doctrine sur la force des matériaux, telle qu'elle est établie dans cet ouvrage, repose sur trois principes qui sont suffisamment démontrés par l'expérience.

Le premier de ces principes est que la résistance d'une barre ou d'une tringle à une force déterminée et qui agit dans le sens de la longueur de la barre, est en raison directe de la surface de la section perpendiculaire de cette barre, tant que son élasticité reste entière et que la force coïncide avec l'axe.

70. Le second principe est que l'extension d'une barre ou d'une tringle, par une force qui agit dans le sens de sa longueur, est en raison directe de cette force, quand l'aire de la section est la

même, et tant que cette force ne surpasse pas l'élasticité de la barre (1).

71. Le troisième principe est que les corps résistent à l'extension et à la compression avec des forces égales, tant que la puissance à laquelle ils résistent ne dépasse pas les limites de la force élastique de la matière qui les compose.

72. Il faut de plus supposer que toutes les parties d'une même pièce sont d'une qualité égale, et qu'il n'existe aucun défaut dans la matière qui la compose. Lorsqu'il existe quelque défaut matériel dans une pièce de fonte, il est souvent possible de le découvrir soit à l'inspection, soit au son que rend la pièce quand on la frappe; mais les bulles d'air ne sauraient se reconnaître par ces moyens.

On a donné, dans l'introduction, la manière d'examiner la qualité d'une pièce de fonte. Toutes celles qui soutiendront l'épreuve du marteau avec

---

(1) Il faut avoir le plus grand soin de ne pas s'écarter de cette limite; car aussitôt que la pression exercée sur un corps dépasse sa force élastique, la ductilité de ce corps devient sensible. Les degrés de ductilité sont extrêmement variables dans les différens corps, et même dans les différens états d'un même corps. Les fluides sont doués de cette propriété au plus haut degré; tout changement dans la position relative de leurs parties est permanent.

le même degré d'apparence de malléabilité, se rapprocheront assez du même degré de force et d'extensibilité pour que toutes les conséquences qu'on en déduira pour la pratique se trouvent exactes.

La vérité de ces prémisses étant admise, toute règle à laquelle elles serviront de fondement pourra être considérée comme aussi solidement établie que les propriétés des figures géométriques.

72ᵃ. Un poids ou une masse de matière libre peut toujours être considérée comme agissant dans la direction d'une ligne verticale qui passe par son centre de gravité, et l'on doit supposer que tout son effet se réunit au point où cette ligne verticale coupe le barreau ou la colonne qui supporte ce poids; mais si le poids ou la masse de matière est en partie soutenue, d'une manière quelconque, indépendamment du barreau ou de la colonne, alors il faudra calculer la direction et l'intensité de la force qui soutiendrait la masse en équilibre (1). On aura pour résultat la direction et l'intensité de la pression exercée sur le barreau ou la colonne.

---

(1) La méthode pour trouver cette force et sa direction, se trouve expliquée dans mes Élémens de Charpente, art. 24 — 29.

73. Nommons f un poids en livres, tel qu'un barreau de fer d'un pouce carré, ou toute autre matière de même dimension, n'en pourrait pas soutenir un plus considérable sans qu'une partie de sa force élastique fût détruite (1). Désignons par W un second poids destiné à être supporté; et par b la largeur, et par t l'épaisseur en pouces de la pièce qui sera chargée de ce second poids. Alors, d'après notre premier principe, art. 69, nous aurons cette proportion :

$f : W :: 1 : bt$, d'où nous tirerons

$$\frac{W}{f} = bt \ldots\ldots (a).$$

C'est-à-dire que l'aire de la section de la pièce sera en raison directe du poids que cette pièce aura à supporter, et en raison inverse de celui qui pourrait altérer la force élastique de la matière qui compose cette pièce.

(1) « Une altération permanente de forme, dit Young, limite la force des matériaux en ce qui a rapport à leur emploi dans la pratique, presque autant que la fracture, puisqu'en général la force qui est capable de produire cet effet, est suffisante avec une légère addition, pour l'augmenter jusqu'au point où la fracture arrivera. » Nat. Phil., vol. I, p.

74. Soit ε la quantité dont une barre de fer ou d'autre matière, d'un pouce d'équarrissage et d'un pied de long, serait alongée par la force f, et l une seconde longueur en pieds. On aura

$$1 : l :: \varepsilon : D,$$

ou $l\varepsilon = D =$ l'alongement de la longueur l... (b).

Car, lorsque la force est la même, l'extension est évidemment proportionnelle à la longueur; et puisque, par notre principe, art. 70, l'extension est en raison directe de la force, nous aurons $f : W :: \varepsilon :$ l'extension produite par le poids W: donc l'extension produite par ce poids $= \frac{W\varepsilon}{f}$, et nous tirons de l'équation b, $\frac{W l\varepsilon}{f} = D$... ($c$).

Dans celle-ci D exprime l'extension qui serait produite dans la longueur l par le poids W.

74ª. Lorsqu'on a à comparer des forces élastiques, il est quelquefois commode d'avoir une unité de mesure qu'on appelle le module d'élasticité (1). On l'obtient au moyen de l'analogie sui-

---

(1) Ce nom a été employé pour la première fois par le docteur Young. Lectures on natural philosophy, vol. II, art. 319.

vante : comme la longueur d'une substance est à la diminution de cette longueur, de même le module d'élasticité est à la force qui produit cette diminution ; ou bien, désignant par m le poids en livres du module pour une base d'un pouce carré :

$$\varepsilon : f :: 1 : m = \frac{f}{\varepsilon} \ldots\ldots (d).$$

Si p est le poids d'un barreau de la substance d'un pied de long sur un pouce en carré, alors, nommant M la hauteur en pieds du module d'élasticité, on aura

$$\frac{f}{p\varepsilon} = \mathrm{M}\ (1) \ldots\ldots (e).$$

75. Soit un barreau rectangulaire AA', *fig.* 14, en équilibre sur un support D, et supposons, pour le moment, qu'aucune autre force n'agisse sur ce barreau que les poids W et W', lesquels sont considérés comme ayant produit tout leur effet pour faire fléchir le barreau. Enfin, supposons la section verticale BD divisée en fibres égales et très minces, comme les montre la *fig.* 15.

---

(1) C'est au moyen de cette équation et de la précédente qu'ont été calculés la hauteur et le poids du module d'élasticité des corps indiqués dans la table alphabétique.

Si B, *fig.* 14, représente la position d'une des petites fibres dans la partie supérieure du barreau, et si l'on tire une ligne aa' tangente à la courbure de la fibre, au point B, il est clair, par une conséquence nécessaire de l'équilibre, que les forces tendant à séparer en B la fibre, devront être égales et dans la direction de la tangente aa' ; et l'effort sera évidemment un effort de tension.

Mais, puisque FA est la direction du poids, on a, par les principes de la Statistique,

$$Ba : Aa :: S\,(\text{résistance de la fibre B}) : \frac{Aa.S}{Ba}$$

ou à l'effet de cette fibre pour résister au poids W.

Ces forces, le raisonnement et l'expérience le prouvent également, compriment la partie inférieure du barreau. Soit donc D une fibre comprimée, de la même surface que la fibre B, et dans une position semblable, et à une distance de la partie inférieure égale à celle de la fibre B par rapport à la partie supérieure. Soit aussi ee' une tangente à la fibre en D et parallèle à aa', et représentant un des efforts égaux et opposés sur la fibre D par eD : nous aurons : eD : eA :: S' (résistance de la fibre D à la compres-

sion) : $\frac{eA.S'}{eD}$, effet de la fibre résistant au poids W.

Les effets des deux fibres B et D résistant au poids seront exprimés par :

$$\frac{Aa.S}{Ba} + \frac{eA.S'}{eD}.$$

Mais puisque $Ba = eD$, et que des portions d'une même matière dont les aires sont égales, résistent avec des forces égales à l'extension ou à la compression (art. 71), on a $S = S'$; donc $\frac{S}{Ba} \times (Aa + eA) =$ l'effet des deux fibres B et D (1).

---

(1) Mais, quand le poids dont un corps est chargé, surpasse sa force élastique, la résistance à la compression surpasse la résistance à la tension ; par conséquent, l'effet des fibres doit être alors $\frac{Aa.S + eA.S'}{Ba}$. Maintenant, la différence entre S et S' ira constamment en augmentant jusqu'à ce qu'il y ait rupture, l'aire de la partie comprimée augmentant continuellement, et celle de la partie qui s'étend allant toujours en diminuant. Cette différence dépend de la ductilité du corps, mais elle ne pourrait être bien constatée que par des expériences faites avec le plus grand soin. Heureusement ces recherches ne sont pas nécessaires dans l'application pratique de la théorie.

Mais $Aa + eA = BD$, distance verticale entre les fibres (1); conséquemment $\frac{SBD}{Ba} =$ cet effet en supportant le poids W... (f).

76. Puisqu'une des faces du barreau s'étend et que la face opposée se contracte, il doit se trouver une fibre à quelque point dans l'épaisseur, qui n'éprouve ni extension ni compression ; la place de cette fibre peut être appelée l'axe neutre, ou l'axe de mouvement.

L'extension ou la compression d'une fibre doit évidemment être proportionnelle à sa distance de l'axe neutre ; et quand cet axe divise la section en deux parties égales et semblables, il se trouve précisément au milieu de l'épaisseur.

Et, puisque l'effet de deux fibres égales est proportionnel à la distance qui les sépare, l'effet de chacune en particulier sera proportionnel à sa distance de l'axe neutre ; car les fibres étant égales, et la force qui les presse étant la même,

---

(1) Quand la flèche devient considérable, la courbe s'aplatit par suite de la force de compression qui agit sur le barreau, et $Aa + eA$ doit surpasser la distance verticale entre les fibres, et le point de la plus forte action change et se porte à l'endroit où la ligne AB coupe la fibre. Ce changement est très apparent quand on en fait l'expérience.

l'axe neutre sera placé au milieu de la distance qui les sépare ; et l'effet des deux étant mesuré par l'épaisseur entière, celui de l'une ou de l'autre aura pour mesure la moitié de cette épaisseur. Ainsi, l'effet d'une seule fibre aura pour expression :

$$\frac{S \cdot BD}{2(Ba)} = \frac{S \cdot Bd}{Ba} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (g)$$

77. Quand un barreau est soutenu par un appui dans une position (1) qui ne s'écarte pas beaucoup de la position horizontale, comme dans la *figure* 14, le pouvoir d'une fibre pour supporter un poids en A ou en A′ est en raison directe de sa force, de son aire et du carré de sa distance de l'axe neutre, et en raison inverse de la distance FB, entre la charge du barreau et son point d'appui ; car la pression étant proportionnelle à l'extension, et l'extension d'une fibre quelconque étant en raison directe de la distance de cette fibre à l'axe de mouvement, il s'ensuit que la force d'une fibre est proportionnelle à sa distance de l'axe de mouvement. Mais on a vu

(1) Il n'y a pas de différence sensible avec la loi exacte de résistance, tant que le barreau ne se trouve pas assez incliné pour glisser sur son appui ; mais on renvoie à l'art. 230, pour l'examen général de cet objet.

(art. 73) que la force est aussi proportionnelle à la surface, et (art. 76) que la résistance est en raison directe de la distance verticale de l'axe neutre, et en raison inverse de la longueur Bα, c'est-à-dire qu'elle est comme $\frac{Bd}{Ba}$; et puisque les triangles FBα et Bdf sont semblables,

$$\frac{Bd}{Ba} = \frac{fd}{FB}, \text{ donc}$$

$\frac{(fd^2) \times \text{la force de la fibre} \times \text{son aire}}{FB}$ = le poids que la fibre peut soutenir . . . . (h).

78. Soit d l'épaisseur divisée en fibres dont chacune égale à x et la m^{me} partie de $\frac{d}{2}$, nommons FB, l, faisons la longueur du barreau $= b$, et appelons f le poids qu'une fibre d'une grandeur donnée pourrait porter étant tirée dans le sens de sa longueur, sans que sa force élastique fût détruite.

Maintenant, si nous calculons la pression moyenne sur chaque fibre par l'équation h, art. 77, nous obtiendrons la progression suivante, dont la somme est égale au poids que le barreau peut porter :

$$\frac{4fb^2x^3}{l\,d} \times \left(1 + 2^2 + 3^3 \ldots\ldots \overline{m-1}^2 + \frac{m^2}{2}\right) = W. \text{ (1)} \ldots (i).$$

(1) Le premier terme de cette progression est équivalent à la quantité qu'on nomme une fluxion, et s'écrit

79. Si le barreau est rectangulaire, la valeur de

$$W = \frac{f\,b\,d^2}{6\,l} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (k).$$

Donc la force latérale d'un barreau rectangulaire est en raison directe de sa largeur, et du carré de son épaisseur, et en raison inverse de sa longueur.

Et si le barreau est carré, sa force latérale est comme le cube de son côté.

79[bis]. Si l'on fixe une lame ABCD (*fig.* 38) sur un de ses côtés AB, et qu'on place un poids à l'angle C, le côté AB étant plus grand que BC; la lame sera rompue dans le sens de quelque ligne comme BE. Pour déterminer cette ligne, supposons la force de levier FC $= l$, et la largeur EB $= b$; nommons t la tangente de l'angle EBC. Alors des triangles semblables on déduira

$$\sqrt{1+t^2} : t :: BC : l$$

$$\text{et } l = \frac{BC \times t}{\sqrt{1+t^2}}$$

de plus, $1 : \sqrt{1+t^2} :: BC : b = BC \times \sqrt{1+t^2}$

---

ordinairement ainsi : $\frac{4fb^2x^2x}{ld}$. La même remarque s'applique aux autres progressions.

$$\text{donc } \frac{f\,b\,d^2}{6\,l} = \frac{f\,d^2\,(1+t^2)}{6\,t};$$

mais cette équation est un minimum quand $t=1$, c'est-à-dire quand l'angle EBC est de 45°; conséquemment

$$\frac{fd^2\,(l+t^2)}{6\,t} = \frac{fd^2}{3} = \mathrm{W} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (l).$$

80. Si le barreau est rectangulaire, et que la pression s'exerce dans une direction perpendiculaire à une de ses diagonales AC (*fig.* 39), nommant b la diagonale, et a l'épaisseur EF, la progression (à raison de ce que la largeur est successivement $\overline{a-2x}$, $a-4x$, etc.), devient

$$\frac{4\,bfx^3}{la} \times \left[a\left(1+2^2+\ldots\frac{m^2}{2}\right) - 2x\left(1+2^3+\frac{m^3}{2}\right)\right]$$

$$\text{ou } \mathrm{W} = \frac{f\,b\,a^2}{24\,l} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (m).$$

Si le barreau est carré, la direction de la pression coïncide avec la diagonale verticale, et dans ce cas

$$\frac{f\,a^3}{24\,l} = \mathrm{W} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (n).$$

Mais la diagonale d'un carré est égale au côté multiplié par $\sqrt{2}$; donc on aura, en nommant d le côté,

$$\frac{f\,d^3}{6\sqrt{2}\,l} = W \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (o).$$

Par conséquent la résistance d'un barreau à une force parallèle à son côté, est à la résistance du même barreau, quand la force agit dans le sens de sa diagonale,

$$:: 1 : \frac{1}{\sqrt{2}}$$

ou comme 10 est à 7, à peu près.

81. Si le barreau est cylindrique, appelant r le rayon, la valeur de b sera successivement

$$2\sqrt{r^2 - x^2},\ 2\sqrt{r^2 - (2x)^2} \text{ etc.}$$

$$\text{et } \frac{4fx^3}{rl} \times \left\{ \sqrt{r^2 - x^2} + 2^2\sqrt{r^2 - (2x)^2} + \text{etc.} \right\} = W.$$

$$\text{ou } W = \frac{0,7854\,f\,r^3}{l} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (p).$$

Si d est le diamètre, alors

$$W = \frac{0,7854\,f\,d^3}{8\,l} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (q).$$

La force latérale d'un cylindre est en raison directe du cube de son diamètre, et en raison inverse de sa longueur.

La force d'un barreau carré est à celle d'un cylindre inscrit comme

$8 : 6 \times 0,7854$, comme $1 : 0,589$, ou comme $1,7 : 1$.

82. Si la section du barreau est une ellipse, on trouvera, en suivant les mêmes calculs, dans le cas où la pression s'exerce dans la direction de l'axe conjugué :

$$W = \frac{0,7854\, f\, t\, c^2}{l} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (r),$$

équation où t représente le demi-axe transversal, et c le demi-axe conjugué.

83. S'il s'agissait d'un cylindre creux, ou d'un tuyau dont r fût le rayon extérieur, et nr la partie creuse, alors en procédant toujours de même, on trouverait :

$$W = \frac{0,7854\, f\, r^3\, (1 - n^4)}{l} \quad (1) \ldots\ldots\ldots\ (s).$$

Le rayon d'un cylindre solide qui contiendrait autant de matière que le cylindre creux, est facile à trouver par une simple construction géo-

---

(1) Le docteur Young a donné une règle qui est essentiellement la même, et que je ne connaissais pas quand j'ai écrit mes Principes de charpente. Dans un ouvrage récent sur les élémens de la physique, par le professeur Leslie, vol. 1, p. 242, le savant auteur a négligé de considérer l'effet de l'extension dans l'examen qu'il a fait de cette équation.

métrique : faites BD (*fig*. 40) perpendiculaire à BC ; CD étant le rayon du tuyau, et BC celui de sa partie creuse, BD sera le rayon d'un cylindre solide qui contiendra la même quantité de matière que le tube.

En comparant les équations 15 et 18, on trouve que quand un solide cylindrique est converti en un tuyau contenant la même quantité de matière, si la force du cylindre $=1$, celle du tube sera $\frac{1-n^4}{(1-n^2)^3}$. Quand l'épaisseur FE (*fig*. 40) est la cinquième partie du diamètre AE, la force est augmentée dans la proportion de 1,7 à 1 ; et si FE $=\frac{3}{20}$ du diamètre, la force sera doublée en étendant le cylindre et lui donnant la forme d'un tube ; mais il n'est pas prudent de chercher à donner une force plus considérable que cette dernière, parce que alors le tube ne serait pas en état, avec une moindre épaisseur de matière, de retenir sa forme circulaire. La proportion la plus ordinaire dans les corps naturels, tels que les tiges des plantes, etc., paraît être entre un sixième et un dixième.

84. Si l'on a une barre de la forme représentée *fig*. 9 (Voy. art. 29, 30 et 31) ; nommant d l'épaisseur à l'extrémité, et b la largeur à cette même extrémité ; gb, la différence entre la largeur au milieu et celle à l'extrémité, et pd l'épaisseur de

la partie étroite du milieu; alors en suivant la même marche que dans le calcul de l'équation k, nous aurons :

$$W = \frac{f\,b\,d^2}{6\,l} \times (1 - qp^3) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (t).$$

85. Si la partie du milieu de la pièce est entièrement enlevée, à l'exception des traverses qui empêchent les côtés de dessus et de dessous de se réunir, comme dans les fig. 11 et 12 (Voy. art. 32), et que d = la grande épaisseur, pd l'épaisseur de la partie enlevée au milieu, et b la largeur, alors

$$W = \frac{f\,b\,d^2}{6\,l}\,(1 - p^3) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (u).$$

85[a]. Jusqu'ici nous n'avons considéré que les formes où l'axe neutre divise la section en figures tout-à-fait semblables; mais il est quelques cas importans (1) où cela n'a pas lieu, comme, par exemple, quand la section est triangulaire.

Prenons le cas d'une coupe triangulaire, avec une portion enlevée au sommet, nous aurons un

---

(1) Ils sont importans, parce que les anciens auteurs sont tombés à cet égard dans des erreurs graves, et qu'ils ont en conséquence donné aux praticiens des idées fausses.

exemple général et qui comprendra le cas où le triangle serait entier. Soit d l'épaisseur du triangle entier, et md celle de la partie tronquée au sommet; nd l'épaisseur de l'axe neutre MN, depuis le côté ab du haut de la pièce. Alors la distance de l'axe neutre jusqu'à la base sera $(1-n-m)d$. Si les deux côtés de l'axe neutre étaient les mêmes que le côté supérieur, la force serait égale à celle d'un parallélogramme $abpq$, ajouté à un triangle aop; alors et d'après les équations k et m nous aurons

$$\frac{f}{6l}(4mbn^2d^2 + bn^3d^2) = \frac{fbn^2d^2}{6l}(4m+n) = \text{W}.$$

Mais, pour trouver la place de l'axe neutre, il faut comparer la force du côté inférieur à celle du côté supérieur; et la force du côté inférieur est égale à celle du parallélogramme rectangle MNBC moins le triangle qrC

$$\text{ou } \frac{f}{6l}\left\{4bd^2(1-m-n)^2-(1-m-n)^3\right\} = \text{W}.$$

Et conséquemment,

$$n^2(4m+n) = 4(1-m-n)^2-(1-m-n);$$

d'où

$$n = \frac{5-2m-3m^2}{2(1-m)} - \sqrt{\left(\frac{5-2m-3m^2}{2-(1-m)}\right)^2 - \frac{3-5m+m^2+m^3}{1-m}}$$

quand $m=0,1$, alors $n=0,592$, et

$$\frac{0,348\, f b d^2}{6 l} = W \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (v).$$

Mais, si $m=0$, ou si le triangle est entier, alors $n=0,697$, à peu près, (1) et

$$\frac{0,339\, f b d^2}{6 l} = W. \text{ ou } \frac{0,0565\, f b d^2}{l} = W. \text{ (2)} \ldots\ldots (x).$$

Si $m=\frac{1}{9}$, n sera égal à 0,58166 et

$$\frac{0,347\, f b d^2}{6 l} = W \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (y).$$

Quand $m=0,1$, la force est à peu près la plus grande possible, un prisme triangulaire étant d'un trente-septième environ plus fort quand l'angle est enlevé à un dixième environ de l'épaisseur (comme l'indique la partie ombrée de la figure 41). Emerson a le premier énoncé ce paradoxe apparent (3); mais il est facile de prouver que la solution qu'il en donne n'est applicable qu'à un cas imaginaire, celui où l'axe neutre

---

(1) Duleau a trouvé dans ce cas un résultat équivalent à $n=0,57$, mais n'a fait connaître que le résultat. Essai théorique, etc., p. 77.

(2) Cette règle a déjà été publiée dans le Mag. philos. vol. 47, pag. 22.

(3) Mechanics, sect. VIII, p. 114.

est une arête incompressible à la base de la section.

Un prisme triangulaire a la même force, soit que la base ou le sommet de la section se trouve comprimé (1); et, en comparant les équations k et x, il paraît que cette force est à celle d'un prisme rectangulaire circonscrit :: 339 : 1000, ou à peu près comme 1 : 3. Mais il ne faut pas oublier que ce rapport n'est applicable qu'aux pressions qui n'altèrent pas l'élasticité des matériaux, et aux cas où l'arête ne souffre pas par la pression qui s'exerce; si la force est augmentée jusqu'au point où la fracture a lieu, le triangle se trouvera encore plus faible que ne l'indique le rapport, si l'on étend l'arête; il sera un peu plus fort, au contraire, si on la comprime. Il sera plus faible dans le premier cas, à cause de l'imperfection de la fonte qui présentera une grande surface en comparaison de la quantité de matière, comme cela arrive toutes les fois que les arêtes sont aiguës; il sera plus fort dans le dernier, parce que ce qu'on mettra pour soutenir les poids diminuera la longueur du levier.

---

(1) Duleau a prouvé ceci dans ses expériences sur la courbure des barres triangulaires. Essai sur la résistance, etc., p. 26.

Il peut être utile de remarquer qu'un triangle contient la moitié en matière, de ce qu'il en entre dans le rectangle circonscrit, mais que sa force n'est que le tiers de celle du rectangle; il n'y a donc pas d'économie à employer des coupes triangulaires; la même remarque s'applique aux sections qui ont la forme d'un T, et dont on fait un si fréquent usage.

85[b]. Si l'on nomme d, l'épaisseur entière d'une section de la forme d'un T (*fig.* 42), b sa plus grande largeur, et $(1-q)\,b$ sa plus petite largeur; alors, supposant l'épaisseur depuis le bord étroit AE, jusqu'à l'axe neutre $= \frac{1}{n}\,d$, la force du barreau sera

$$\frac{4fb^2(1-q)}{6\,l\,n^2} = \mathrm{W}.$$

Car $\frac{4\,d^2}{n^2}$ serait l'expression du carré de l'épaisseur entière si les deux côtés de l'axe neutre étaient semblables, et la force serait égale à un rectangle de cette épaisseur, ayant pour largeur $(1-q)b$.

Mais, suivant l'équation t, la force de l'autre côté de l'axe est

$$\frac{4fb\,d^2\,(1-qp^3)\,(n-1)^2}{6\,l\,n^2};$$

Nous avons donc l'équation $(n-1)^2(1-qp^3) = 1-q$ pour déterminer la place de l'axe neutre, ou

$$n = 1 + \sqrt{\frac{1-q}{1-qp^3}}.$$

Par conséquent

$$\frac{4fbd^2(1-q)}{6l\left(1+\sqrt{\frac{1-q}{1-p^3q}}\right)^2} = W \ldots\ldots\ldots\ldots (z).$$

Cette formule est compliquée, mais elle offre quelques résultats curieux. Si nous faisons $p=o$, nous avons la force d'un barreau dont l'axe neutre est en C, et la profondeur AC est

$$\left(d\left(\frac{1}{1+\sqrt{1-q}}\right)\right);$$

où d représente l'épaisseur entière.

Et, si AE $= \frac{1}{4}$ DB (*fig.* 42), alors AC $= \frac{2}{3}d$, quand l'axe neutre est en C.

L'axe neutre peut se trouver en un point quelconque qui peut être choisi entre le point C et la moitié de l'épaisseur, en variant à cet effet les valeurs de q et de p.

Si nous faisons

$q=0,75$ et $p=0,5$, alors AM $= \frac{d}{1,55}$ et DF $=$ CM; et aussi

$$AE = \frac{1}{4} DB;$$

la force est alors

$$\frac{fbd^2}{6 \times 2{,}4\, l} = W \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (aa).$$

La figure 42 est dans ces proportions; b représente l'épaisseur entière, et d la plus grande largeur. Sa force est à celle du rectangle circonscrit indiqué par les lignes ponctuées, comme $\frac{1}{2{,}4} : 1$ ou comme $5 : 12$.

Ces équations montrent la relation entre la force des pièces et le poids qu'elles doivent supporter dans quelques-uns des cas les plus utiles, lorsque la charge est placée comme dans la figure 14. Mais, avant d'examiner comment ces équations seront affectées en variant la manière de supporter la pièce, il est bon de donner quelques règles pour évaluer la courbure que prennent les pièces.

86. La courbure d'une barre supportée comme celle de la figure 16 est causée par l'alongement des fibres du côté supérieur, et par la compression de celles du côté inférieur; la ligne neutre ABA′ conserve la même longueur.

Si l'on conçoit une barre divisée, dans le sens de sa longueur, en un grand nombre de parties

égales, et que l'alongement d'une de ces parties vers le haut de la pièce, soit représenté par *ab*, alors l'inflexion produite par cet alongement sera représentée par *de*; et, comme les angles *acb* et *dce* sont égaux, on aura *bc* : *dc* :: *ab* : *de*; la petitesse des angles devant faire regarder comme nulle la très petite différence de similitude.

Mais, quelque petites que nous supposions les parties dans lesquelles la longueur se trouve divisée, il n'en est pas moins certain que la pression sera variable sur les différentes parties de la longueur, et que, par conséquent, l'inflexion le sera aussi; mais si nous regardons l'inflexion produite par l'alongement d'une partie quelconque, comme une moyenne proportionnelle arithmétique entre la plus grande et la plus petite compression dans cette partie, nous aurons un terme infiniment rapproché de l'exactitude.

Nous avons vu (art. 77) que la force est en raison directe du poids et du levier, et en raison inverse de la largeur et du carré de l'épaisseur. Pour généraliser l'examen de cette question, considérons comme variables le poids, la largeur et l'épaisseur, et nommons l, b et d la longueur, la largeur et l'épaisseur du milieu ou du point supporté; w le poids total, et x, y, et w, l'épaisseur, la largeur et le poids en tout autre point.

Alors la courbure produite par la charge en un point quelconque C, sera comme

$$\frac{W\,l\,x}{2\,b\,d^2} : \frac{w\,(d\,c)^2}{y\,x^2} :: e : \frac{2\,b\,d^2\,e\,w\,(d\,c)^3}{W\,l\,y\,x^3};$$

et si z égale la longueur d'une des parties dans lesquelles nous avons supposé la longueur totale divisée; dans ce cas, l'inflexion produite par la force moyenne agissant sur la longueur z au point c, sera

$$\frac{2\,b\,d^2\,e\,w\,z}{W\,l\,y\,x^3} \times \left(\frac{dc^2 + (dc + z^2)}{2}\right);$$

et, puisque la courbure totale DA est la somme des courbures des parties, nous avons

$$\frac{2\,b\,d^2\,e\,w\,z^3}{W\,l\,y\,x^3} \times \left(1^2 + 2^2 + \text{etc.} + (m-1)^2 + \frac{m^2}{2}\right) = \text{DA} \,..\, (a).$$

87. *Premier cas.* Quand une barre est rectangulaire, que sa largeur et son épaisseur sont uniformes, et que la charge porte sur une de ses extrémités, alors

$$b = y,\ d = x,\ \text{et}\ W = w.$$

La progression devient donc

$$\frac{2\,e\,z^3}{l\,d} \times \left(1^2 + 2^2 + \text{etc.}\right),$$

progression dont la somme est :

$$\frac{2\,e\,l^2}{3\,d} = \text{la courbe DA} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (b).$$

88. *Deuxième cas.* Quand la section de la barre est rectangulaire, que la charge porte sur une de ses extrémités, que l'épaisseur est uniforme, mais que la largeur varie comme la longueur, dans ce cas la progression est

$$\frac{2ez^2}{d} \times (1 \quad 2 + \text{etc.}) = \frac{el^2}{d} = \text{la courbure DA..}(o).$$

Cette barre est celle de force uniforme ou d'égale résistance décrite art. 25, *fig.* 6; sa courbure est d'un tiers plus grande que celle d'une barre dont la largeur est égale dans toute son étendue. La courbure de la barre d'égale résistance, décrite art. 26e, est la même; l'axe neutre devient un cercle dans ces deux barres (1).

Il serait facile de prouver par d'autres raisonnemens que, dans ce cas, la courbe de l'axe neutre est un arc de cercle; et personne n'ignore que dans un arc de très petite courbure, tel par exemple que ceux que forment dans la pratique les inflexions des barres, le sinus verse est sensible-

---

(1) M. Girard arrive à cette conclusion erronée; que tous les solides d'égale résistance se courbent en arcs circulaires (Traité analytique, p. 82), parce qu'il néglige de tenir compte de l'effet de l'épaisseur du solide sur le rayon de courbure.

ment proportionnel au carré du sinus. Ceci mettra le lecteur en état de se former une idée de l'exactitude de la méthode que je suis ici. Je suis convaincu qu'elle est d'une précision suffisante pour servir dans la construction des machines et des édifices, et qu'il est très inutile d'employer des règles plus savantes et plus difficiles, propres seulement à embrouiller ce sujet. J'ai cru devoir cette explication à ces théoriciens scrupuleux qui tendent plutôt à une perfection imaginaire qu'à une application utile.

89. *Troisième cas.* Quand la section de la pièce est rectangulaire, que la charge porte sur une des extrémités, que la largeur est uniforme, et que l'épaisseur varie dans le rapport de la racine carrée de la longueur; ce qui donne une pièce parabolique d'égale résistance (art. 22, *fig.* 3).

Dans ce cas la progression est

$$2el^{\frac{1}{2}}z^{\frac{3}{2}} \times \left(1^{\frac{1}{2}} + 2^{\frac{1}{2}} + \text{etc.}\right) \text{ ou}$$

$$\frac{4cl}{3d} = \text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (d).$$

L'inflexion est double de celle d'une barre uniforme, quoique la quantité de matière ne soit diminuée que d'un tiers.

90. *Quatrième cas.* Quand la section diminue depuis le point d'appui jusqu'à l'extrémité où la charge est placée, de manière que toutes les sections sont des figures semblables; alors la courbe qui borne les côtés de la pièce, est une parabole cubique, c'est-à-dire que l'épaisseur sera partout proportionnelle à la racine cubique de la longueur.

Dans ce cas la progression est

$$\frac{2el^{\frac{1}{3}}z^{\frac{5}{3}}}{d} \times \left(1^{\frac{2}{3}} + 2^{\frac{2}{3}} + \text{etc.}\right) = \frac{6el^2}{5d}$$

$$= \text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots (e).$$

Cette courbure est à celle d'une barre uniforme :: 1,8 : 1.

91. *Cinquième cas.* Quand une pièce a partout la même largeur, et que sa section verticale est une ellipse (*Voy.* fig. 8, art. 26.), l'inflexion produite par un poids placé sur le point le plus élevé peut se développer sous la forme d'une progression telle que celle-ci,

$$\frac{l^2ez^3}{d} \times \left\{ \frac{2}{(2lz - z^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{8}{(4lz + 4z^2)^{\frac{3}{2}}} + \text{etc.} + \frac{m^2}{(2lmz - m^2z^2)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

$$= \frac{l^2ez^{\frac{3}{2}}}{d} \times \left(\frac{2}{(2l - z)^{\frac{3}{2}}} + \text{etc.} \right) = \text{DA}.$$

En additionnant cette progression dans le cas où $m = 10$, on a

$$\frac{0,857 l^2 e}{d} = \text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots (f).$$

92. *Sixième cas.* Si une pièce rectangulaire, de largeur et d'épaisseur uniforme, est chargée de manière que l'effort sur un point quelconque C soit comme

$$l^2 : dc \times (2l - dc) :: W : w = \frac{dc \times W \times (2l - dc)}{l^2}$$

Cette valeur de W étant substituée dans l'équation a, on aura

$$\frac{ez^3}{dl^2}\left\{2l(1^2 + 2^3 + \text{etc.}) - z(1^3 + 2^3 + \text{etc:}) = \frac{el^2}{d} \times \frac{4}{3} - \frac{1}{2}\right.$$

$$= \frac{5el^2}{6d} = \text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots\ldots (g)$$

Cette courbure est celle d'un barreau uniformément chargé, et supporté aux extrémités, l exprimant la moitié de la longueur.

93. *Septième cas.* Quand la section d'une barre est rectangulaire, que la largeur est uniforme, mais qu'une portion de l'épaisseur varie dans le rapport de la longueur, le reste de l'épaisseur

étant uniforme; dans ce cas, l'épaisseur en un point quelconque C sera

$$\frac{d}{l}\overline{(1-nl+nz)}=x:$$

L'épaisseur au point où le poids agit étant $1-n$ partie de l'épaisseur au point de support.

Cette valeur étant substituée pour x dans l'équation a de l'art. 86, elle devient

$$\frac{2l^2ez^2}{d}\times\left\{\frac{1}{(\overline{1-nl}+nz)^3}+\frac{2^2}{(\overline{1-nl}+nz)^3}+\text{etc.}\right\}=\text{DA}.$$

Si $n=0,5$ comme dans les pièces des figures 4 et 5, on a

$$\frac{1,09l^2e}{d}=\text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots\ldots (h).$$

ainsi l'inflexion que prend une barre uniforme étant désignée par 1, celle-ci sera infléchie de 1,635 par la même force, les sections du milieu étant les mêmes.

Si l'épaisseur est diminuée à l'extrémité des deux tiers de ce qu'elle est au milieu, alors on aura $n=\frac{1}{3}$, et

$$\frac{0,895\,l^2e}{d}=\text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots\ldots (i).$$

93 [a]. *Huitième cas.* Si une barre rectangulaire

est supportée en son milieu et uniformément chargée dans le sens de sa longueur, alors

$$l : dc :: W : w = \frac{W\,(dc)}{l}.$$

Ainsi, en substituant cette valeur de w dans l'équation a, art. 86, on a, quand la largeur et l'épaisseur sont uniformes,

$$\frac{2ez^4}{l^2} \times (1 + 2^3 + 3^3 + \text{etc.}) = \frac{l^2 e}{2d} = \text{la courbure DA} \ldots\ (k).$$

Dans ce cas la courbure est égale aux trois quarts de celle que prendrait la même barre si toute la charge était réunie aux extrémités.

93 [b]. *Neuvième cas.* Si un solide est engendré par la révolution d'une parabole semi-cubique autour de son axe, ce qui est la figure d'égale résistance pour une pièce supportée au milieu, quand la charge est uniformément étendue sur toute la longueur, alors

$$l^2 : d^3 :: (dc)^2 : x^3 = \frac{d^3 (dc)^2}{l^2},$$

$$\text{et } y = x\,;\ \text{de même } w = \frac{(dc)\,W}{l}.$$

Ces quantités étant substituées dans l'équation a, art. 86, donnent

$$\frac{2el^{\frac{2}{3}}z^{\frac{4}{3}}}{d} \times \left\{1 + 2^{\frac{1}{3}} + 3^{\frac{1}{3}} + \text{etc.}\right\} = \frac{3el^2}{2d} = \text{DA} \ldots\ (l).$$

Ici la courbure égale $2\frac{1}{4}$ fois celle d'une barre uniforme avec la charge aux extrémités.

93. *Dixième cas*. Si une barre destinée à porter une charge uniformément distribuée, est partout de même largeur, l'épaisseur variant en raison directe de la distance des extrémités, comme dans la fig. 21. Dans ce cas,

$$l : d :: (dc) : x = \frac{d\,(dc)}{l};$$

$$b \text{ est constant, et } w = \frac{(dc)\,W}{l}.$$

Ainsi par l'équation *a*, art. 86,

$$\frac{2el^2}{d} = \text{la courbure DA} \ldots\ldots\ldots\ldots (m).$$

Si la barre avait été uniforme, et la charge aux extrémités, la courbure n'aurait été que le tiers de ce qu'elle est dans le cas présent.

Les différens cas que j'ai examinés sont peut-être suffisans pour les circonstances ordinaires; je vais faire voir maintenant comment ces calculs sont affectés en changeant la position de la pièce et la manière de la supporter, ou la nature de la force qui agit sur elle; et après les avoir comparés avec les expériences, j'en déduirai des règles pour la pratique. Pour cet objet, le plan le plus clair et le

plus utile à suivre me paraît être de prendre pour exemples des cas de pratique bien connus.

Pièces supportées au milieu, et sur lesquelles la force s'exerce aux extrémités, comme dans le balancier d'une machine à vapeur.

94. La distance FB, fig 14, de la direction de la force au centre du mouvement, étant constamment la même, la pression sera la même dans une position quelconque de la pièce (art. 77). La quantité dont elle s'écartera de sa forme naturelle sera aussi la même dans chaque position, puisque la pression sera la même, et que la longueur ne changera pas avec la position.

La force qui agit sur le balancier d'une machine à vapeur étant une force d'impulsion, on trouvera dans la onzième section les règles pratiques pour calculer ses dimensions d'après les formules qu'on y a placées.

Pièces fixées par une de leurs extrémités, telles que supports de balcon, manivelles, etc.

95. L'effort qui s'exerce sur une pièce portée sur un pivot comme dans la fig. 14, est évidemment le même que celui qui s'exerce sur elle quand une de ses extrémités est encastrée dans un mur

ou fixée de quelque autre manière; car en fixant une extrémité, on ne fait que remplacer le poids qui serait nécessaire pour balancer la pression. Mais quoique l'effort exercé sur la pièce soit le même, l'inflexion du point où la force agit varie suivant la manière dont l'extrémité se trouve fixée, parce que l'inflexion du point pressé doit être celle que produit la courbure des deux parties AB et BA'.

96. Supposons que les lignes ponctuées dans la fig. 17, représentent la position naturelle d'une pièce encastrée par un bout dans un mur. Quand cette pièce est pressée par un poids en A, la compression en C sera toujours assez considérable pour que la pièce puisse se courber entre les points A' et B, et la pression au point A' sera évidemment la même que si l'on y suspendait un poids qui fît équilibre à celui qui est en A. Soit ABA' la courbure que le poids W fait prendre à la pièce, et aa' une tangente au point B; alors $A'a'$ est proportionnel à la courbure produite par la pression en A', et

$$A'B : BD :: A'a' : Da = \frac{BD \times A'a'}{A'B} = \text{l'inflexion}$$

pour la courbure de la partie A'B; par conséquent

$$\frac{BD \times A'a'}{A'B} + Aa = \text{la courbure totale DA.}$$

Mais puisque la flèche de courbure est proportionnelle au carré de la longueur (*Voy.* équations $a - m$, art. 86—93), on a

$$(BA)^2 : (BA')^2 :: Aa : A'a' = \frac{Aa\,(BA')^2}{(BA)^2};$$

donc

$$Aa \times \left(1 + \frac{BD \times BA'}{(BA)^2}\right) = DA \;\ldots\ldots\ldots\; (a)$$

Si l'angle DBA est appelé c, alors

$$BD = BA \times \cos c;$$

et mettant $r = \frac{BA'}{BA}$, on a

$$Aa \times (1 + r.\cos c) = DA \;\ldots\ldots\ldots\; (b).$$

Mais comme l'inflexion est toujours fort petite dans la pratique, on peut toujours aussi regarder $\cos\ c = 1$, ou égal au rayon, et alors on a

$$Aa \times (1 + r) = DA \;\ldots\ldots\ldots\; (c).$$

97. Dans cette équation, r est le rapport de la longueur qui fait saillie à la longueur encastrée, c'est-à-dire que

$$BA : BA' :: 1 : r.$$

Si la pièce est ou supportée en son milieu sur un pivot, ou fixée de manière que la longueur de la partie encastrée soit égale à celle de la partie qui fait saillie, alors

$$r = 1, \text{ et } 2\,(\mathrm{A}a) = \mathrm{DA} \;\ldots\ldots\; (d).$$

98. Si la partie encastrée est d'un plus grand volume que la partie qui fait saillie, ou si elle est fixée de manière que l'alongement de la partie ainsi fixée doive être très-petit, alors on peut le négliger, et regarder DA comme ne différant pas de AA, particulièrement dans les manivelles des machines, *voyez* la fig. 18, parce qu'en employant cette valeur de DA pour calculer la résistance à l'impulsion, l'erreur devient favorable à la sûreté. *Voyez* art. 280.

Pièces supportées aux deux extrémités pour porter des charges, etc.

99. Si la même pièce est portée sur des appuis aux extrémités, comme dans la figure 19, au lieu d'être chargée sur ses bouts, et supportée en son milieu, comme dans la figure 14, et si l'inclinaison et la quantité de charge est la même de chaque côté, la pression sera aussi la même.

Dans chaque position de la pièce on a

$$W \times FB = W' \times F'B,$$

ou comme

$$W : W' :: F'B : FB,$$

et que par conséquent

$$W + W' : W :: FF' : F'B \text{ (1)};$$

on aura donc

$$W \times FB = \frac{(W + W') \times F'B \times FB}{FF'}.$$

Si la pièce est rectangulaire, et que sa longueur totale $FF' = l$, W étant la charge totale, alors par l'art. 79, équation k, on a

$$\frac{fbd^2}{6} = \frac{W \times FB \times F'B}{l} \quad \ldots . (e).$$

100. Et l'effort est proportionnel au rectangle du segment dans lequel le point B divise la barre; donc il est le plus grand quand le point B est au milieu; ainsi que l'ont prouvé, mais d'une autre

---

(1) Elémens d'Euclide, liv. 5, prop. 18.

manière, les auteurs qui ont écrit sur la Mécanique (1).

Si la charge est portée sur le milieu, alors

$$\frac{(W+W')\times F'B\times FB}{FF'}=\frac{(W+W')\times FF'}{4}.$$

Dans une barre rectangulaire, la longueur totale étant l, et le poids total W, on a

$$\frac{fbd}{6}=\frac{lW}{4}, \text{ ou } \frac{2fbd^2}{3}=lW\ldots\ldots\ldots(f).$$

101. Quand un poids est distribué sur la longueur d'une pièce AB, fig. 20, d'une manière quelconque, on peut déterminer l'effort qui s'exerce sur un point, aussi quelconque C. En effet, soit G le centre de gravité de cette partie de la charge sur AC, et g celui du poids sur BC, alors, on aura par la propriété du levier,

$\frac{W\times AG}{AC}$ = l'effort en C exercé par le poids w' de la charge sur CB.

L'effort total sera donc

$$\frac{(w\times CB\times AG)+(w'\times AC\times gB)}{AC\times CB}$$

(1) Gregory's Mechanics, vol. 1, art 178, cor. 2.

et par l'équation V, art. 99, la force sera

$$\frac{(w \times CB \times AG) + (w' \times AC \times gb)}{AB} \dots\dots\dots (g).$$

102. *Premier cas.* Quand le poids est distribué uniformément sur la longueur, alors

$$AG = \tfrac{1}{2} AC ; w' B = \tfrac{1}{2} CB \text{ et } w + g' = W,$$

ou la charge entière que supporte la pièce; ces valeurs étant substituées dans l'équation g, elle devient

$$\frac{W \times AC \times CB}{2\,AB} = \text{l'effort en C} \dots\dots (h).$$

La pression est la plus grande au milieu de la longueur, parce que alors AB + AC est un maximum, et elle est évidemment la même que si la moitié de la charge se trouvait réunie sur ce point; car, dans ce cas, AC étant égal à CB, et chacun des deux égal à la moitié de AB, on a, dans la supposition que la pièce soit triangulaire,

$$\frac{fbd^2}{6} = \frac{lW}{8} \text{ ou } \frac{4fbd^2}{3} = lW \dots\dots\dots\dots (i).$$

103. *Deuxième cas.* Quand la charge augmente de A en B, en raison de la distance de A, alors,

$$AG = \tfrac{2}{3} AC, \text{ et } gB = \tfrac{1}{3} CB \times \frac{3AB - 2CD}{2AB - CB}.$$

Maintenant puisque

$$w + w' = \text{la charge totale};$$

que

$$w = \frac{\frac{1}{2}\,AC^2 \times W}{AB};$$

et que

$$w' = \tfrac{1}{2}\,CB \times W\,\frac{2\,AB - CB}{AB};$$

si l'on inserre ces valeurs dans l'équation g, on aura

$$\frac{W.\,AC}{6\,AB}\,(AB^2 - AC^2) = \text{la pression en C} \ldots (k).$$

Les principes des *maxima* et *minima* nous font voir tout de suite que la plus grande force s'exerce à la distance de

$\sqrt{\frac{1}{3}\,AB}$ de A. Cette force sera à peu près égale à

$\frac{AB^2.\,W}{15,59}$ au point où elle est la plus grande $=$

$\frac{W.\,AB}{7,75}$, quand W est le poids total...... (l).

Cette distribution de la pression est applicable

à la pression d'un fluide contre une table verticale en fer, comme dans les réservoirs, les écluses, les citernes, etc.

104. *Troisième cas.* Quand la charge augmente proportionnellement au carré de la distance de A, on trouve, en opérant de même, que la pression dans un point quelconque C, est égale à

$$\frac{\text{W. AC}}{12\ \text{AB}^2} \times (\text{AB}^3 - \text{AC}^3) \ldots\ldots\ldots\ldots (m).$$

Le point de la plus grande pression se trouve placé, dans ce cas, à une distance de $A = (\frac{1}{4})\ \frac{1}{3}$ AB.

Règles de pratique et exemples.

Résistance à la pression transversale.

105. Proposition I. Trouver une règle pour déterminer la largeur et l'épaisseur d'une pièce de fonte destinée à porter une charge donnée ou à résister à une pression aussi donnée, quand on connaît la distance entre les points d'appui ou entre les points chargés ; dans la supposition que la largeur et l'épaisseur sont l'une et l'autre uniformément les mêmes dans toute la longueur de la pièce, et que la pression ne surpasse pas la force élastique de la fonte.

106. *Premier cas.* Quand une pièce est appuyée par ses extrémités, et chargée en son milieu, comme on le voit *fig.* 19; en prenant dans l'équation VI, art. 100, W pour le poids, nous avons

$$Wl = \frac{2fbd^2}{3} \cdot l = FF',$$

et la valeur de f est la seule que l'expérience doive faire connaître;

$$\text{mais } f = \frac{3lW}{2bd^2}.$$

Or dans l'expérience détaillée à l'article 45, section V, la barre reprit son état naturel, tant qu'elle ne fut chargée que d'un poids de 300 livres, et il me parut très certain qu'elle aurait pu en supporter un plus considérable sans perdre sa force élastique; donc, d'après cette expérience,

$$\frac{3 \times 34 \times 300}{2} = f = 15300 \text{ livres.}$$

C'est-à-dire que de la fonte d'une qualité pareille à celle de l'expérience de l'art. 45, peut porter 15300 livres sur un pouce carré (10, 78 kilo. par millimètre carré) quand elle est tirée dans le

sens de sa longueur, sans altération permanente dans sa forme. En employant cette valeur de f, notre équation devient

$$\frac{3lW}{2 \times 15300} = bd^2;$$

ou, attendu qu'il est plus commode de prendre l en pieds

$$\frac{3 \times 12 \times l \times W}{2 \times 15300} = \frac{lW}{850} = bd^2.$$

107. Règle 1. Pour trouver la largeur que doit avoir une barre de fonte de grosseur uniforme pour porter un poids donné, multipliez la longueur de la portée en pieds par le poids donné en livres, et divisez le produit par 850 fois le carré de l'épaisseur en pouces, le quotient sera, en pouces, la largeur demandée (1).

108. Règle 2. Pour trouver l'épaisseur d'une barre de fonte uniforme destinée à porter en son milieu un poids déterminé.

---

(1) Pour une barre de fer forgé, divisez par 952, au lieu de 850.

Pour une solive en chêne, divisez par 212, au lieu de 850

Et pour du sapin jaune, divisez par 255, au lieu de 850

Multipliez la longueur de la portée en pieds par le poids donné en livres, et divisez le produit par 850 fois la largeur en pouces, la racine carrée du quotient sera l'épaisseur en pouces. Quand la nature de la situation dans laquelle la pièce de fonte doit être placée n'exige pas une largeur ou une épaisseur spéciale, il peut être quelquefois commode de déterminer leur proportion : si, par exemple, on suppose que la largeur soit une partie de l'épaisseur représentée par *n*, *n* étant un nombre arbitraire, alors on a la règle suivante.

109. Règle 3. Multipliez *n* fois la longueur en pieds par le poids en livres, divisez le produit par 850, et la racine cubique du quotient sera l'épaisseur demandée ; cette épaisseur étant divisée par *n* donnera la largeur.

Il faut remarquer ici que les règles sont les mêmes pour des barres inclinées que pour des barres horizontales, quand la distance FF', *fig.* 19, est prise pour la longueur de la portée.

110. *Exemple.* Dans une position où la courbure n'est pas un défaut matériel, je me propose de faire porter à une pièce en fonte un poids qui ne dépassera pas 33600 livres, ou 15 tonneaux anglais de 2240 liv. avoir du poids; la charge devant se faire en son milieu; la distance entre les appuis étant

de 20 pieds, et la largeur devant être du quart de l'épaisseur, dans ce cas

$$n = 4 \text{ et } \frac{4 \times 20 \times 33600}{850} = 3162,35.$$

La racine cubique de 3162,35 est à très peu de chose près 14,68; c'est, en pouces, l'épaisseur demandée; la largeur est

$$\frac{14,68}{4} = 3,67.$$

Mais, dans la pratique, je ferais usage de nombres ronds, et je donnerais à la pièce 15 pouces d'épaisseur, et quatre pouces de largeur.

111. *Deuxième cas*. Si l'on a une pièce qui soit appuyée aux extrémités, mais qui ne doive pas être chargée en son milieu entre les supports, dans ce cas,

$$\frac{W.FB \times F'B}{l} = \frac{fbd^2}{6},$$

(équation V. art. 99); donc

$$\frac{4FB \times F'B \times W}{850\ l} = bd^2.$$

112. RÈGLE. Multipliez la distance FB en pieds (voy. *fig.* 19) par la distance F'B aussi en pieds,

et quatre fois ce produit divisé par la longueur vous donnera l'effet réel de la charge; ce nombre étant mis à la place de la longueur dans une règle quelconque de celles du *premier cas* de la prop. 1, servira à trouver la longueur et l'épaisseur.

113. *Exemple.* Prenons le même exemple que le dernier; mais, au lieu de placer les 15 tonneaux sur le milieu, supposons-les à 5 pieds de l'une des extrémités, nous aurons FB = 5 pieds, et par conséquent F'B = 15 pieds, et $\frac{5 \times 15 \times 4}{20} = 15$. C'est le nombre qu'il faut employer au lieu de la longueur totale de la règle 3; ainsi

$$\frac{4 \times 15 \times 33600}{850} = 2372 \text{ à peu près.}$$

La racine cubique de 2372 est à peu près 13,34, c'est l'épaisseur en pouces que doit avoir la pièce dont la largeur sera

$$\frac{13,34}{4} = 3,34 \text{ pouces};$$

c'est à peu près $13\frac{1}{2}$ pouces sur $3\frac{1}{2}$ pouces de côté; dans le premier exemple nous avions trouvé 15 pouces sur 4.

114. *Troisième cas.* Si la charge est uniformément distribuée sur la longueur de la pièce,

et que celle-ci soit appuyée par ses extrémités, dans ce cas

$$\frac{Wl}{8} = \frac{fbd^2}{6},$$

(voy. l'équation IX art. 102), d'où l'on tirera

$$\frac{lW}{2 \times 850} = bd^2.$$

Les mêmes règles s'appliquent comme dans le cas premier, art 107, 108 et 109, en prenant pour diviseur 2 fois 850 ou 1700.

115. Dans une position où je ne puis pas établir une arche, n'ayant pas de moyens pour la soutenir, je suis obligé de laisser un vide de quinze pieds de large dans un mur en brique de 18 pouces; quelle épaisseur dois-je donner à deux barres de fonte pour qu'elles puissent porter le mur au-dessus de l'ouverture, chaque barre devant avoir deux pouces de large, et l'élévation du mur au-dessus de l'ouverture devant être de 30 pieds ?

Le mur contiendra

$$30 \times 15 \times 1\tfrac{1}{2} = 675 \text{ pieds cubes};$$

et comme un pied cube de maçonnerie en brique pèse environ 100 livres, le poids du mur sera d'environ 67500 livres; chaque barre aura donc à

porter la moitié de ce poids ou 33750 livres. Puisque la largeur est supposée connue, on trouvera l'épaisseur par la règle 2, art. 108, si l'on se sert de 1700 pour diviseur constant; ainsi

$$\frac{15 \times 33750}{1700 \times 2} = 149 \text{ à peu près.}$$

La racine carrée de 149 est $12\frac{1}{4}$ à peu près, ainsi chaque barre doit avoir 12 pouces $\frac{1}{4}$ d'épaisseur, et deux pouces de largeur. Cette opération donne la force réelle nécessaire pour supporter un pareil mur; mais, dans la pratique, j'ai le plus souvent calculé sur un poids double de celui que m'avait donné la règle, afin de prévenir tout danger.

On peut calculer de cette manière la force qui convient aux poutres, aux solives, aux linteaux et aux autres pièces de cette nature.

Quand il se trouve dans un mur des ouvertures tellement placées, qu'une pile de maçonnerie porte sur le milieu de la longueur d'une pièce, alors la force se calcule par la règle de l'article 108. On donnera à l'article 155 une règle qui convient à une forme plus économique.

116. *Quatrième cas*. Lorsqu'une pièce est fixée par une de ses extrémités, et que la charge porte sur l'autre extrémité; de même, lorsqu'une

pièce est portée sur un centre de mouvement, on a, par l'équation X, art. 79,

$$Wl = \frac{fbd^2}{6};$$

et prenant l en pieds, et $f=15300$ livres, on trouve

$$\frac{Wl}{212,5} = bd^2;$$

mais le diviseur 212 suffira toujours dans la pratique.

117. *Règle* I. Dans une pièce fixée par une de ses extrémités, prenez BD pour la longueur, (*fig.* 17) et dans celle qui est supportée par son milieu, comme dans la *fig.* 14, prenez BE ou BF′ pour la longueur, ayant soin de faire entrer dans le calcul le poids qui doit agir sur l'extrémité; calculez alors la force par les règles du premier cas, art. 107, 108 et 109, et servez-vous de $\frac{850}{4} = 212$ pour diviseur au lieu de 850.

Exemple. On peut, par cette règle, déterminer les proportions des bras d'une balance. Soit la longueur du bras depuis le centre de suspension jusqu'au centre de mouvement $= 1\frac{1}{2}$ pied, le poids le plus fort que la balance aura à peser

= 336 liv., enfin la largeur égale à la dixième partie de l'épaisseur; alors par la règle

$$\frac{10 \times 1,5 \times 336}{12} = 24 \text{ à peu près};$$

la racine cubique de 24 est 2,88. L'épaisseur au centre sera donc de 2,88 pouces, et la largeur de 0, 288 pouces.

Pour du fer forgé, le diviseur serait, dans ce cas, = 238; et en prenant le même exemple, on aurait

$$\frac{10 \times 1,5 \times 336}{238} = 21,2.$$

La racine cubique de 21,2 est 2,77, c'est l'épaisseur demandée en pouces, et la largeur serait = 0,277 de pouce.

118. Si le poids est uniformément distribué sur la longueur, servez-vous du nombre 425 pour diviseur, au lieu de 850 dans les règles du premier cas, art. 107, 108 et 109.

119. *Exemple.* On demande l'épaisseur que doivent avoir les supports d'un balcon dont la saillie sera de 4 pieds, et qui seront écartés de 5 pieds; le poids de la partie en pierre étant de 1000 livres; la largeur de chaque support de 2 pouces, et la charge la plus forte qui puisse être rassemblée sur 5 pieds de sa longueur, de 2200 livres.

Ici le poids est

$$1000 + 2200 = 3200 \text{ liv.};$$

et par la règle 2, quatrième cas,

$$\frac{3200 \times 4}{2 \times 425} = 15,1 \text{ à peu près.}$$

La racine carrée de 15,1 est de 3,80, à peu près; c'est en pouces l'épaisseur demandée.

120. *Remarque*. L'épaisseur ainsi déterminée est l'épaisseur auprès du mur, comme AB, *fig*. 21. Et si la largeur est la même dans toute la longueur, le support sera également fort dans toutes ses parties, si le dessous est terminé par la ligne droite BC (1). Ainsi, quelle que soit la forme qu'on donne à ces supports pour les faire servir d'ornement, on ne doit en aucun endroit diminuer leur épaisseur plus que ne l'indique cette ligne.

121. La force des dents des roues tient à ce cas-ci; mais comme un mouvement irrégulier, ou bien quelque corps qui se placera accidentelle-

---

(1) Emerson's Mechanics, prop. 73, cor. 2. Galilée, le plus ancien auteur sur la résistance des solides, l'avait déjà démontré.

ment entre les dents, peut faire porter tout l'effort sur le bord d'une de ces dents, et qu'il a été prouvé, art. 79[e], que la résistance est dans ce cas beaucoup plus petite, parce que alors la force d'une dent d'une épaisseur d serait seulement

$$\frac{fd^2}{3} = W,$$

si elle était partout de même largeur; enfin, que pour tenir compte de la diminution de largeur, nous devons faire $\frac{fd^2}{5} = W$; qu'il faut passer aussi quelque chose pour la partie qui s'use, et qu'ici en comptant sur le tiers de la largeur ce sera sûrement bien assez,

nous aurons $\frac{fd^2(1-\frac{1}{3})^2}{5} = W$, ou $\frac{fd^2}{10,25} = W$.

Pour la fonte $f = 15300$; ce qui donne avec une exactitude suffisante

$$\frac{W}{1500} = d^2, \text{ ou } \left(\frac{W}{1500}\right)^{\frac{1}{2}} = d.$$

Règle. Divisez par 1500 la force évaluée en livres qui s'exerce sur le cercle où les dents de la roue sont placées; la racine carrée du quotient donnera en pouces l'épaisseur des dents.

Exemple. Supposons que la plus grande force exercée sur le cercle qui porte les dents d'une roue, soit de 6000 livres, nous aurons

$$\frac{6000}{1500} = 4.$$

La racine carrée de 4 est 2. Les dents de la roue doivent donc avoir 2 pouces d'épaisseur.

La largeur des dents doit être proportionnelle à l'effort auquel elles ont à résister, et cet effort ne doit pas surpasser 400 livres par pouce de largeur, parce que la surface de contact est toujours petite, et que l'action des dents est irrégulière quand elles ont beaucoup servi.

La longueur des dents ne doit pas excéder leur épaisseur, mais la force n'est pas affectée par le plus ou moins de longueur qu'on leur donne (1).

---

(1) On peut voir ce que dit Buchanan sur la longueur et la forme des dents, dans son ouvrage intitulé : *Essays on mill Work*, vol. 1, p. 66, sec. éd.

Table de l'épaisseur, de la largeur, et de la distance à donner aux dents des roues.

Effort qui s'exerce sur le cercle qui porte les dents.	Épaisseur des dents.	Largeur des dents.	Distance entre les dents mesurée du milieu de l'une au milieu de l'autre.
Livres	Pouces.	Pouces.	
400	0,52	1	1,1
800	0,73	2	1,5
1200	0,90	3	1,9
1600	1,03	4	2,2
2000	1,15	5	2,4
2400	1,26	6	2,7
2800	1,36	7	2,9
3200	1,46	8	3,0
3600	1,56	9	3,3
4000	1,64	10	3,4
4400	1,70	11	3,6
4800	1,78	12	3,7
5200	1,86	13	3,9
5600	1,93	14	4,0
6000	2,00	15	4,2

121. Comme il est d'une grande importance, dans la construction des machines, que les dents des roues soient bien proportionnées, je vais montrer, par différens exemples, la manière d'employer cette table.

Premier cas. L'usage commun est de calculer l'effort qui s'exerce sur les dents de la roue d'une machine par la puissance du premier moteur, comparée à la force d'un ou de plusieurs chevaux, et par la vitesse du cercle qui porte les dents en pieds par seconde. Maintenant, quoique j'aie donné dans la table la force qui s'exerce sur la roue, en livres avoir du poids, je n'ai cependant pas perdu de vue le moyen ordinaire d'évaluation. Je suppose donc que la force d'un cheval est de 200 livres, avec une vitesse de 3 pieds par seconde, et c'est la supposition qu'on doit faire quand on calcule la force des machines.

Alors la largeur en pouces sera égale à la force en chevaux, à laquelle les dents sont égales quand la vitesse du cercle qui les porte est d'un pied et demi par seconde ; deux fois cette largeur répondra à la force en chevaux quand la vitesse sera de 3 pieds par seconde; trois fois la largeur sera l'équivalent de la force en chevaux quand la vitesse sera de quatre pieds et demi par seconde; quatre fois la largeur sera la force en chevaux quand la vitesse sera de six pieds par seconde ; cinq fois la largeur donnera la force en chevaux quand la vitesse sera de 7 pieds et demi par seconde, et en général, *n* fois la force en chevaux quand la

vitesse du cercle qui porte les dents sera de n fois 1 pied et demi par seconde.

Exemple. Supposons qu'une machine à vapeur de la force de dix chevaux doive être employée à faire mouvoir une machine, et qu'on veuille connaître la force qu'il faudra donner aux dents d'une roue qui fera partie de celle-ci, et dont le cercle, qui porte les dents, sera destiné à faire ses révolutions avec une vitesse moyenne de trois pieds par seconde.

Dans ce cas, la force en chevaux devra être double de la largeur des dents; cette dernière sera donc égale à $\frac{10}{2} = 5$ pouces, largeur qui répond dans la table à une épaisseur de 1,15 pouce et à une distance du milieu d'une dent au milieu de celle qui la suit de 2,4 pouces.

Et des dents de la même force conviendront à une roue quand la force en chevaux du premier moteur, étant divisée par la vitesse par seconde, donnera le même quotient. Dans l'exemple actuel la force en chevaux, divisée par la vitesse, $= \frac{10}{3}$. Ainsi, la même force de dents conviendrait si la force était de 20 chevaux et la vitesse de 6, ou de 30 chevaux et la vitesse de 9, puisqu'on aurait toujours le même quotient $1\frac{1}{3}$. Ceci peut être de

quelque avantage pour l'arrangement des collections de modèles.

Deuxième cas. Si une machine est mise en mouvement par des chevaux, la force en chevaux devra être évaluée plus haut, à raison des saccades et des mouvemens irréguliers de ces animaux. Ce ne sera pas porter trop haut l'effort qui a souvent lieu dans ce cas, en évaluant la force d'un cheval à 400 livres, avec une vitesse de trois pieds par seconde, et en donnant aux dents une épaisseur proportionnée.

Mais la largeur des dents devra conserver les mêmes proportions que dans l'exemple précédent.

Exemple. Quand la force en chevaux est évaluée à 400 livres, avec une vitesse de trois pieds par seconde, l'effort qui s'exerce sur les dents se trouve dans la table pour ce cas. Ainsi, dans une machine qui doit être mise en mouvement par quatre chevaux, l'effort sur toutes les roues, dont le cercle qui porte les dents parcourt trois pieds par seconde, est de 1600 livres ; les dents doivent donc être éloignées de 2,2 pouces de milieu en milieu, et elles doivent avoir 1,03 pouce d'épaisseur ; leur largeur sera la moitié de celle indiquée par la table : elle sera donc de deux pouces.

Pour toute autre vitesse, pour six pieds par

seconde, par exemple, l'effort sera déterminé par la proportion

$$6 : 3 :: 1600 : \frac{4800}{6} = 800.$$

C'est-à-dire que l'effort sur les dents, exercé par l'action de quatre chevaux, est de 800 livres quand la vitesse est de six pieds par seconde. La table fait connaître que l'épaisseur des dents doit être de 0,73 de pouce, et que leurs points du milieu doivent être écartés de 1,5 pouce.

Troisième cas. Nous n'avons plus maintenant qu'à faire connaître la règle générale qui comprend les cas précédens, et qui nous paraît offrir un moyen plus simple et plus direct de procéder.

Si l'on désigne par P la force du premier moteur en livres, et par V la vitesse en pieds de ce moteur par seconde, l'effort sur les dents d'une roue dont la vitesse du cercle qui les porte est représentée par v, sera

$$\frac{PV}{v} = W, \text{ l'effort exercé sur les dents.}$$

Mais on ne peut pas toujours connaître la vitesse du cercle où sont placées les dents, parce qu'il n'est pas possible en général de faire varier le nombre des dents après que leur cercle a été dé-

terminé, de manière à donner à celui-ci la vitesse qu'on lui a assignée avant de connaître leur distance.

Ce calcul se fera avec avantage de la manière suivante : nommons N le nombre de révolutions que l'axe qui porte la roue doit faire par chaque minute, et r le rayon que devrait avoir la roue, si l'écart entre les centres des dents devait être de deux pouces; alors

$$v = \frac{2,1dNr}{19,09 \times 12} = \frac{dNr}{109,08};$$

par conséquent $\frac{PV}{v} = \frac{109,08PV}{dNr} = W$,

d'où $\frac{109,08PV}{1500Nr} = d^3$; *ou* $\left(\frac{0,07272PV}{Nr}\right)^{\frac{1}{3}} = d$.

On déduit de cette équation la règle suivante :

Règle. Multipliez 0,073 fois la force en livres du premier moteur par sa vitesse en pieds par seconde, et divisez le produit par le nombre de révolutions que la roue doit faire par minute et par le rayon qu'elle devrait avoir si la distance entre les centres de ses dents était de 2 pouces. La racine cubique du quotient sera égale à l'épaisseur des dents en pouces.

Exemple 1. Supposé que la force effective,

agissant sur la circonférence d'une roue à eau, soit de 600 livres, que sa vitesse soit de dix pieds par seconde (1), et qu'on veuille connaître quelle épaisseur il faut donner aux dents d'une roue qui devra faire douze révolutions par minute, et avoir trente dents.

Ici $0,073 \times 600 \times 10 = 438$;

et puisque le rayon d'une roue de trente dents, dont les centres sont écartés de deux pouces, est de 9,567 pouces (2), on a

$$\frac{438}{12 \times 9,567} = 3,815.$$

La racine cubique de 3,815 est, à très peu près, 1,563. C'est, en pouces, la largeur des dents cherchée.

Exemple 2. Soit la force effective du piston d'une machine à vapeur égale à 13750 livres, et

(1) La manière d'évaluer la force effective, et de déterminer la vitesse la plus convenable des roues à eau, est expliquée dans les additions aux Essais de Buchanan, vol. II, seconde édition anglaise.

(2) C'est ce qu'il est facile de vérifier au moyen de la table des rayons des roues, par Donkin, insérée dans les Essais de Buchanan.

sa vitesse de $3\frac{1}{2}$ pieds par seconde. On demande quelle force doivent avoir les dents d'une roue qui doit faire tourner cette machine ; la roue doit avoir 152 dents et faire 17 révolutions par minute.

Dans ce cas, le rayon, pour 152 dents écartées de 2 pouces, est de 48,387 pouces ; on a donc

$$\frac{0,073 \times 13750 \times 3,5}{17,5 \times 48,387} = 4,15.$$

La racine cubique de $4,15 = 1,6$ à peu près. C'est l'épaisseur des dents cherchée ; on verra, dans la table, que des dents de cette épaisseur doivent avoir près de neuf pouces de largeur.

Ces règles donnent des proportions qui se rapprochent infiniment de celles adoptées par MM. Boulton et Watts, de Soho ; Rothwell, Hick et Rothwell, de Boston, comté de Lancastre, et par d'autres fabricans estimés, ce qui est une des preuves les plus satisfaisantes de la confiance qu'on doit avoir dans le calcul que j'ai suivi. La principale différence consiste dans la plus grande largeur que j'ai assignée pour les fortes pressions ; et comme elle est le résultat du principe que j'ai suivi pour établir ces proportions, je ne puis y renoncer tant qu'on ne m'aura pas démontré que ce principe est erroné.

122. *Cinquième cas.* Quand la pression qui

s'exerce sur une pièce augmente dans le rapport de la distance de l'un des points d'appui de cette pièce, le point où la pression est la plus forte se trouvant à $\sqrt{\frac{1}{3}l}$ du point A, où l'effort commence (voy. *fig.* 20), on a, par les articles 103 et 79,

$$\frac{Wl}{7.75} = \frac{fbd^2}{6},$$

ou, lorsque l désigne des pieds, et que $f = 15300$ liv.,

$$\frac{Wl}{1,647} = bd^2,$$

résultat qui diffère si peu du troisième cas, que la même règle peut servir pour les deux.

123. Prop. 2. Trouver une règle pour déterminer la diagonale d'une barre carrée uniforme, destinée à porter une charge donnée dans le sens de cette diagonale, la pression ne devant pas surpasser la force élastique de la fonte.

124. *Premier cas.* Quand une barre est appuyée par ses extrémités et chargée en son milieu,

$$\frac{Wl}{4} = \frac{fa^3}{24},$$

article 100 et 80; ou quand l est en pieds, et que $f = 15300$ liv.,

$$\left(\frac{Wl}{212}\right)^{\frac{1}{3}} = a.$$

125. Règle. Multipliez la longueur en pieds par le poids en livres, et divisez le produit par 212, la racine carrée du quotient sera égale à la diagonale, en pouces, de la pièce.

126. *Deuxième cas.* Quand la pièce est supportée aux deux bouts, et que l'effort ne s'exerce pas sur le milieu de sa longueur,

$$\frac{W \times FB \times F'B}{l} = \frac{fa^3}{24},$$

article 80 et 99; ou quand $f = 15300$ livres, et que la longueur et les distances FB et F'B des extrémités sont en pieds,

$$\left(\frac{W \times FB \times F'B}{53l}\right)^{\frac{1}{3}} = a.$$

127. Règle. Multipliez le poids en livres par la distance FB en pieds, et multipliez le produit par la distance de l'autre bout, ou par F'B, aussi en pieds (voy. *fig.* 19). Divisez ce dernier produit par 53 fois la longueur; la racine cubique du quotient sera la diagonale de la pièce exprimée en pouces.

Je bornerai les règles à ces deux cas, parce qu'une pièce de fonte est rarement placée dans la position que suppose la proposition. Je me dispenserai, par la même raison, de donner des exemples.

128. Prop. 3. Etablir une règle pour trouver le diamètre d'un cylindre solide destiné à supporter une charge donnée ; la charge ne devant pas excéder la force élastique de la fonte ; et dans le cas où le diamètre ne serait pas uniforme, celui que déterminera la règle, devant être celui du point où s'exercera le plus grand effort : le diamètre de tout autre point ne devant jamais être moindre que celui qui convient aux figures d'égale résistance.

129. *Premier cas.* Quand un cylindre solide est supporté aux extrémités et que le poids agit sur le milieu de la longueur,

$$\frac{Wl}{4} = \frac{0,7854fd^3}{8},$$

article 81 et 100 ; ou quand l est en pieds, que $f = 15300$ liv., et que $d =$ le diamètre en pouces ; on a

$$\left(\frac{Wl}{500}\right)^{\frac{1}{3}} = d.$$

130. *Règle.* Multipliez le poids en livres par la longueur en pieds ; divisez le produit par 500 ; la racine cubique du quotient sera le diamètre en pouces (1).

---

(1) Pour le fer forgé, divisez par 560 ; et pour le chêne, par 125, au lieu de 500.

La figure d'égale résistance, pour un solide dont la section transversale est partout circulaire, est celle qu'engendrent deux paraboles cubiques placées base contre base (1), les bases étant égales et se réunissant au point où la résistance est la plus grande.

131. *Exemple.* On demande le diamètre d'un arbre horizontal en fonte, propre à supporter une pression de 2000 livres sur le milieu de sa longueur, qui est de 20 pieds.

Dans ce cas, nous avons

$$\frac{2000 \times 20}{500} = 80.$$

La racine cubique de 80 est 4,31 à peu près. C'est, en pouces, le diamètre demandé.

On suppose ici que l'inflexion est sans importance, autrement le diamètre doit être déterminé par les règles sur l'inflexion.

132. *Deuxième cas.* Quand un cylindre est appuyé par les extrémités, mais que la pression n'est pas au milieu de la longueur ; par les articles 81 et 99,

$$\frac{W \times FB \times F'B}{500} = \frac{0,7854 f d^3}{8};$$

---

(1) Emerson's Mechanics, prop. 73, cor 4.

ou quand les longueurs sont en pieds, que d est le diamètre en pouces, et $f = 15{,}300$, l'équation devient

$$\left(\frac{4W \times FB \times F'B}{500\,l}\right)^{\frac{1}{3}} = d.$$

133. *Règle.* Multipliez le rectangle des segmens, dans lequel le point pressé divise l'arbre en pieds, par 4 fois le poids en livres; le produit étant divisé par 500 fois la longueur en pieds, la racine cubique du quotient sera égale au diamètre du cylindre en pouces.

La figure d'égale résistance est la même que dans le cas 1, art. 130.

134. *Exemple.* On demande le diamètre d'un arbre de fonte, pour résister à une pression de 4000 livres, à 3 pieds de l'extrémité, la longueur totale de l'arbre étant de 14 pieds. Dans cet exemple

$$\frac{3 \times 11 \times 4 \times 4000}{500 \times 14} = 75{,}43.$$

La racine cubique de $75{,}43 = 4{,}23$ à peu près. C'est, en pouces, le diamètre demandé.

135. *Troisième cas.* Quand une charge est distribuée uniformément sur la longueur d'un

solide cylindrique qui n'est appuyé qu'aux extrémités ; par les art. 81 et 102,

$$\frac{Wl}{8} = 0{,}7854fd^3;$$

ainsi quand l est en pieds, que d est le diamètre en pouces, et que $f = 15{,}300$ liv., on a

$$\left(\frac{Wl}{1000}\right)^{\frac{1}{3}} = d = \frac{1}{10}(Wl)^{\frac{1}{3}}.$$

136. *Règle.* Multipliez la longueur en pieds par le poids en livres ; la dixième partie de la racine cubique du produit sera égale au diamètre en pouces.

La figure d'égale résistance pour un poids uniforme, quand la section est partout circulaire, et celle engendrée par la révolution d'une courbe dont l'équation est

$$a(lx - x^2)^{\frac{1}{3}} = y \text{ (1)}.$$

137. Un poids de 13440 livres doit être uniformément distribué sur la longueur d'un solide cylindrique en fonte, dont la longueur est de 12 pieds ; on demande quel diamètre doit avoir

---

(1) Emerson's Mechanics, prop. 73, cor. 3.

ce cylindre pour que la charge ne surpasse pas la force élastique.

Dans ce cas

$$12 \times 13440 = 161280,$$

et la racine cubique de $161280 = 54,44$, dont la dixième partie $5,444$, est le diamètre demandé.

138. *Quatrième cas.* Quand un cylindre est fixé par une de ses extrémités, et que la charge est sur l'autre extrémité; ou bien, quand un cylindre est porté sur un centre d'action, par l'art. 8,

$$Wl = 0,7854 fr^3;$$

par conséquent, quand d est le diamètre, que l est en pieds et que $f = 15300$ liv., on a

$$\left(\frac{8\,Wl}{1000}\right)^{\frac{1}{3}} = d \text{ ou } \tfrac{1}{5}\,(Wl)^{\frac{1}{3}} = d.$$

La figure d'égale résistance est la même que dans le premier cas, art. 130.

139. *Règle.* Multipliez la longueur du levier avec lequel le poids agit, en pieds, par le poids en livres, la cinquième partie de la racine cubique de ce produit sera le diamètre demandé en pouces.

L'application la plus importante de ce cas-ci est pour la détermination des proportions des essieux et des tourillons, et cette application sera mieux expliquée par un exemple.

Le plus grand effort sur un tourillon a lieu lorsque, par suite de quelque accident, l'effort est jeté sur l'extrémité où il porte ; mais indépendamment de la plus grande pression possible, il faut encore avoir égard aux dégradations produites par le travail de la machine : peut-être peut-on compter un cinquième du diamètre pour cette seule cause.

Prenons maintenant l pour la longueur du tourillon, depuis son origine jusqu'à l'extrémité où il porte, nous aurons,

$$\frac{1}{5}\left(\frac{1}{12} l W\right)^{\frac{1}{3}} = d\left(1 - \frac{1}{5}\right); \text{ ou } \frac{1}{9}(l W)^{\frac{1}{3}} l = d;$$

ce qui nous donne pour la pratique la règle suivante.

Règle. Multipliez la pression en livres par la longueur en pouces, et la racine carrée du produit, divisée par 9, vous donnera, en pouces, le diamètre du tourillon.

Exemple. Supposons que l'effort sur le tourillon soit de 22,400 livres, et que la longueur du tourillon soit de 7 pouces,

$$7 \times 22400 = 156800.$$

La racine cubique de ce nombre est 54, à peu près; et $\frac{54}{9} = 6$. C'est, en pouces, le diamètre demandé.

Mais la pression sur un tourillon placé dans son support doit être limitée, autrement il serait bientôt usé. Supposons que l'effort ne s'exerce que sur une partie de la circonférence égale aux trois quarts du diamètre du tourillon, et que la pression est limitée à 1500 livres par pouce carré, ce qui est à peu près la plus grande pression qu'on puisse faire éprouver à des surfaces qui frottent l'une contre l'autre quand une d'elles est de fonte grise; alors, nous aurons

$$l = \frac{4\,W}{3 \times 1500\,d},$$

$$\text{ou } l = \frac{W}{1125\,d}:$$

Si l'on porte cette valeur dans l'équation précédente, on aura

$$\tfrac{1}{90}\left(\frac{W^2}{d}\right)^{\frac{1}{3}} = d; \text{ ou}$$

$$W = 0{,}854\,d^2,$$

$$l = 0{,}854\,d.$$

La table suivante a été calculée sur ces principes, et j'espère qu'elle sera utile.

Table des proportions des tourillons ou des axes sur lesquels tournent les arbres des machines, pour résister à différens degrés de pression.

Diamètre des tourillons.	Largeur des tourillons.	Pression qu'ils peuvent soutenir.
Pouces.	Pouces.	Livres.
$\frac{1}{2}$	0,43	213
$\frac{3}{4}$	0,64	480
1	0,85	854
1 $\frac{1}{2}$	1,25	1921
2	1,7	3416
3	2,5	7686
4	3,4	13664
5	4,3	21350
6	5,1	30744
7	5,9	41846
8	6,8	54656
9	7,7	69174
10	8,5	85400

Les tourillons qui sont exposés à l'action d'une matière dont le frottement les use beaucoup, peuvent être faits avec un diamètre d'un huitième environ plus fort.

140. Prop. 4. Déterminer une règle pour trouver le diamètre extérieur d'un tube ou d'un cylindre creux (1) dont l'objet est de résister à une force donnée et qui ne surpasse pas la force élastique de la fonte.

141. *Premier cas.* Quand un cylindre creux est appuyé aux extrémités, et que sa charge agit sur le milieu de la longueur ; par les articles 83 et 100,

$$\frac{Wl}{4} = 0{,}7854\, fd^3\,(1 - N^4)\,;$$

d'après cela, si d est le diamètre en pouces, l la longueur en pieds, et que $f = 15300$ liv., on a

$$\left(\frac{Wl}{500\,(1 - N^4)}\right)^{\frac{1}{3}} = d.$$

142. *Règle générale.* Établissez une proportion quelconque entre les deux diamètres, intérieur et extérieur, mais telle que le diamètre extérieur soit au diamètre intérieur, comme 1 est à N ; le

---

(1) On augmente beaucoup la force et la résistance à la courbure des arbres des machines, en les faisant creux, comme on l'a vu à l'art. 83 ; mais il est difficile de couler ces sortes de pièces, sans qu'il y ait de défaut. Il est donc essentiel de les éprouver avant de les faire servir.

nombre N sera toujours un nombre décimal, et il ne faut pas qu'il soit plus grand que 0,8 (1).

Multipliez ensuite la longueur en pieds par le poids à porter en livres; multipliez aussi 500 par la différence entre 1 et la quatrième puissance de N, et divisez le premier produit par le dernier, la racine cubique du quotient sera égale au diamètre cherché, mesuré en pouces.

Le diamètre intérieur sera égal au diamètre extérieur multiplié par le nombre décimal N, et la demi-différence entre les diamètres sera égale à l'épaisseur du métal.

Si la proportion entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur est fixée de manière que l'épaisseur du métal doive être toujours égale à la

---

(1) Dans un arbre considérable, il doit toujours entrer un volume raisonnable de métal pour assurer la bonté de la fonte. M. Buchanan décrit dans son Essai sur les arbres des roues des moulins, un arbre creux dont le diamètre extérieur était de 16 pouces, et le diamètre intérieur de 12 pouces. Ainsi, dans ce cas, on avait $16 : 12 :: 1 : N = \frac{12}{16} = 0{,}75$. Cet arbre était pour une roue de 16 pieds de diamètre, et qui devait recevoir l'eau par en haut.

cinquième partie du diamètre extérieur, alors $N = 0,6$, et la règle devient

$$\left(\frac{l}{435}\right)^3 = d,$$

et comme cette équation ne diffère que par le diviseur constant de celle trouvée pour un cylindre solide, on a cette règle :

Règle particulière. Si l'épaisseur du métal doit être de la cinquième partie du diamètre du cylindre, calculez le diamètre par la règle donnée à l'art. 130, pour un solide cylindrique; mais, au lieu de diviser par 500, servez-vous du nombre 435 pour diviseur.

143. *Exemple.* Supposons que le poids d'une roue à eau, en y comprenant le poids de l'eau des augets, soit de 44800 livres; que la longueur entière de l'arbre qui la porte soit de 8 pieds, dont il faut retrancher 5 pieds pour la largeur de la roue (1), ce qui réduit à 3 pieds la longueur de la portée; on demande quel diamètre on doit donner à un arbre creux pour porter cette roue ?

---

(1) La roue est supposée assez bien construite pour que la partie de la longueur de l'arbre qu'elle occupe puisse être considérée comme étant parfaitement forte.

Faisant $N = 0,7$, la quatrième puissance de ce nombre est 0,240,

et $$1 - 0,240 = 0,76;$$

on aura donc, par la règle générale,

$\frac{3 \times 44800}{500 \times 0,76} = 354$ en négligeant les décimales.

La racine cubique de $354 = 7$ à peu près. C'est en pouces le diamètre extérieur demandé. Le diamètre intérieur sera $7 \times 0,7 = 4,9$ pouces. Le calcul est plus facile par la règle particulière, en effet

$$\frac{3 \times 44800}{435} = 309.$$

La racine cubique de $309 = 6,76$ pouces, diamètre extérieur de l'arbre; et l'épaisseur du métal étant $\frac{1}{5}$ de ce diamètre, on a pour elle 1,75 pouce.

La règle particulière donne une bonne proportion pour l'épaisseur du métal quand il doit porter des charges considérables, mais dans des onvrages plus légers, où la résistance à l'inflexion doit être considérée comme ce qu'il y a de plus important, il faut se servir de la règle générale.

144. *Deuxième cas.* Quand un tube est sup-

porté aux extrémités, mais que la charge ne porte pas sur le milieu de sa longueur, on trouvera, par les articles 83 et 99, après avoir fait les substitutions nécessaires,

$$\left[\frac{4W \times FB \times F'B}{500\, l \times (1 - N^4)}\right]^{\frac{1}{3}} = d.$$

Règle. Multipliez le rectangle des segmens dans lesquels la pièce est divisée au point où la pression s'exerce, et compté en pieds, par quatre fois la charge en livres; vous aurez un premier produit.

Multipliez 500 fois la longueur en pieds, par la différence entre 1 et la quatrième puissance de N (N étant le diamètre intérieur quand le diamètre extérieur est l'unité); vous aurez un second produit.

Divisez le premier produit par le second, et la racine cubique du quotient sera égale au diamètre extérieur mesuré en pouces.

Si vous supposiez que l'épaisseur du métal devrait être égale à la cinquième partie du diamètre extérieur, vous feriez le calcul par la règle de l'article 133, et vous emploiriez 435 pour diviseur au lieu de 500.

146. *Exemple.* Supposons que le poids d'une roue, ajouté à toute autre pression qui s'exerce sur l'arbre qui la porte, soit égal à 36000 livres;

que la distance du point où se fait l'effort au point de support de l'une des extrémités soit de 3 pieds, et la distance au point de support de l'autre extrémité soit de 1,5; et que N=0,8. On demande quels diamètres, extérieur et intérieur, doit avoir l'arbre ?

La quatrième puissance de 0,8 est 0,409, et

$$1 - 0,409 = 0,591;$$

on aura donc, par la règle,

$$\frac{3 \times 1,5 \times 4 \times 36000}{500 \times 4,5 \times 0,591} = 485.$$

La racine cubique de 485 = 7,86. C'est, en pouces, le diamètre extérieur; le diamètre intérieur sera

$$7,86 \times 0,8 = 6,3 \text{ pouces.}$$

Les troisième et quatrième cas ne doivent guère se présenter dans l'emploi qu'on fait des tubes dans la pratique; on peut y suppléer par les troisième et quatrième cas qui se rapportent aux solides cylindriques, en divisant le diamètre du solide par la différence entre 1 et la quatrième puissance de N; ou si l'épaisseur du métal devait être $\frac{1}{5}$ du diamètre, en divisant par 435 au lieu de 500.

147. Prop. 5. Déterminer une règle pour trouver l'épaisseur d'une pièce dont la forme de section est la même que celle de la *fig.* 9; et qui doit résister à une force donnée, laquelle ne dépasse pas la force élastique de la fonte.

148. *Premier cas.* Si la pièce est appuyée aux extrémités, et que la charge soit placée au milieu de sa longueur, on a, par les art. 84 et 100,

$$\frac{Wl}{4}=\frac{fbd^2}{6}(1-qp^3);$$

ou, faisant $l=$ la longueur en pieds, et $f=15300$ livres,

$$\frac{Wl}{850}=bd^2(1-qp^3) \quad (1).$$

---

(1) Si l'on fait $p=0,7$, et $q=0,6$, alors

$$850(1-qp^3)=675,$$

et la règle est

$$\frac{Wl}{675}=bd^2.$$

La largeur de la partie du milieu est alors $=0,4b$, et l'épaisseur de la même partie est égale à $0,7\,d$.

Quand les parties sont dans ces proportions, la force est à celle de la section rectangulaire circonscrite comme 1 : 1,26.

149. *Règle.* Prenez une largeur *ab* (*fig.* 9) qui convienne à l'objet pour lequel la pièce est destinée ; multipliez cette largeur par un nombre décimal q, de manière que le produit soit égal à la différence entre la largeur de la partie du milieu et la largeur totale.

Supposez encore que p est un nombre décimal qui, étant multiplié par l'épaisseur totale, donnera l'épaisseur du milieu ou de la partie la plus mince *ef* de la figure 9.

Multipliez la longueur en pieds par le poids en livres, et divisez le produit par 850 fois la largeur multipliée par la différence entre l'unité et le cube de p multiplié par q; la racine carrée du quotient sera égale à l'épaisseur demandée, mesurée en pouces.

La figure d'égale résistance, pour ce cas-ci, est formée par deux paraboles ordinaires, placées base contre base, comme l'indiquent les lignes ponctuées, *fig.* 22 ; car le rapport $l : d^2$ est une propriété

Si, avec les mêmes proportions, on fait la largeur *ab* toujours égale à un cinquième de l'épaisseur *bd*, *fig.* 9, la force sera à celle d'une barre carrée de même épaisseur, comme 1 : 6,3, et la résistance à la courbure sera dans la même proportion.

de la parabole, les autres quantités étant constantes. La figure 22 fait voir les modifications qu'il convient de faire dans la pratique. Quand on emploie une figure d'égale résistance, l'épaisseur donnée par la règle est celle qui convient au point de plus grande force. C'est l'épaisseur CD de la figure.

150. *Exemple* 1. Trouver l'épaisseur d'une pièce de fonte de la forme de section représentée dans la *fig.* 9, qui puisse porter en son milieu une charge de 33600 livres; la longueur de la pièce étant de 20 pieds, et la largeur *ab* de 3 pouces.

Faites $q = 0{,}625$, et $p = 0{,}7$, proportions qu'on trouvera très-convenables dans la pratique. Alors, vous aurez

$$\frac{20 \times 33600}{850 \times 3 \times (1 - 0{,}625 \times 0{,}7^3)} = \frac{20 \times 33600}{3 \times 667} = 335{,}4$$

à peu près.

La racine carrée de $335{,}4 = 18{,}4$, l'épaisseur demandée.

L'épaisseur *bd* étant de 18,4 pouces, l'épaisseur *ef* sera

$$18{,}4 \times 0{,}7 = 12{,}88 \text{ pouces};$$

de même

$$3 \times 0,625 = 1,875, \text{ et}$$

$$3 - 1,875 = 1,125 \text{ pouce};$$

la largeur de la partie du milieu de la section sera donc de 1,125 pouce.

En comparant ces résultats avec ceux de l'exemple, art. 110, on verra que le même poids n'exige qu'environ les deux tiers de la quantité de fonte pour le porter quand la pièce est faite dans cette forme.

Exemple 2. La même règle peut servir à déterminer les dimensions des ornières d'un chemin en fer. Il est fort important de concilier ici l'économie avec la force et la durée. Comme le mouvement de la charge doit se faire dans le sens de la longueur de l'ornière, la figure d'égale résistance est celle qui est représentée *fig.* 24; mais elle doit être renversée, et le côté qui est en ligne droite, placé en dessus.

Supposons qu'un charriot soit chargé de quatre tonneaux de charbon, ou d'environ 8960 livres. Quand les ornières sont plus courtes que le double de la distance entre les roues, la plus forte pression sur une ornière ne peut pas surpasser la moitié de ce poids, ou 4480 livres, ce qui laisse la moitié à peu près de la force pour les accidens imprévus. La longueur ordinaire de chaque pièce

d'un chemin en fer est de 3 pieds (1), et en supposant que sa largeur soit de deux pouces, on

---

(1) Cette longueur est-elle ou non la plus économique à donner aux pièces des chemins en fer? Cette question mérite d'être examinée. Voici comme on peut la décider :

Le poids d'une barre de fer d'un pouce carré et de 700 pieds de longueur est d'un tonneau (2240 liv. av. du poids). Ainsi, pour une longueur de 700 pieds, l'aire de la barre en pouces, multipliée par le prix du tonneau de fer, sera égale au prix de 700 pieds d'ornière. Faisons $\frac{700}{x}$ = la longueur d'une seule pièce d'un chemin en fer, et supposons que toutes les pièces ont la même épaisseur, alors $\sqrt{\frac{W \times 700}{850 \times bx}} = d =$ l'épaisseur, et, quand cette épaisseur est diminuée aux deux bouts,

$$0{,}76 \sqrt{\frac{W \times 700}{850 \times bx}} = \text{l'aire.}$$

Nommant A le prix d'un tonneau de fer, et B le prix de chaque support en fer ajouté aux frais pour y fixer les ornières; alors le prix de 700 pieds sera

$$0{,}7\, A b \sqrt{\frac{W \times 700}{850\; bx}} + x B = \frac{0{,}64\, A \sqrt{W b}}{\sqrt{x}} + B x.$$

Donc, par les règles des maxima et des minima, il pa-

trouvera en suivant le mode de calcul indiqué dans la note de l'art. 148.....

$$\frac{Wl}{675 \times 6} = \frac{4480 \times 3}{675 \times 2} = d^2 = 9{,}96,$$

et la racine carrée de $9{,}96 = 3{,}16$ pouces.

---

raît que le prix sera le plus faible quand le nombre des supports pour 700 pieds sera

$$= \left(\frac{0{,}32\,A\sqrt{Wb}}{B}\right)^{\frac{2}{3}},$$

équation dans laquelle W représente la moitié du poids en livres du charriot et de sa charge. Cette équation est applicable au nouveau chemin en fer inventé par M. Palmer, en faisant W égal au poids total du charriot.

Un exemple éclaircira ceci. Soit A, le prix du tonneau de fer $= 8$ liv. sterl.; B, le prix d'un support $= 0{,}5$ liv. sterl. Le poids du charriot $= 8960$ liv., et la largeur de l'ornière $= 3$ pouces.

Dans ce cas on a

$$\left(\frac{0{,}32 \times 8 \times \sqrt{8960 \times 3}}{0{,}5}\right)^{\frac{2}{3}} = 89,$$

c'est-à-dire qu'il ne devrait y avoir que 89 supports dans une longueur de 700 pieds, pour que la dépense fût la plus petite possible, avec ces prix et avec ces proportions qui donnent aux supports un éloignement de près de 8 pieds; mais il faut bien faire attention que ces prix ne sont mis ici que pour éclaircir l'exemple que je donne, et qu'ils ne sont pas ceux que l'on paie en ce moment.

C'est l'épaisseur dans le milieu de la longueur. De même,

$3,16 \times 0,7 = 2,212$ pouces, = l'épaisseur de la partie mince de la section faite au milieu de la longueur, et

$$2 \times 0,4 = 0,8,$$

ou la largeur de la partie du milieu de la section.

L'épaisseur d'une ornière, si toutes avaient la même largeur, serait, par la règle 2, art. 108, de 2,83 pouces au milieu.

Exemple 3. Dans le chemin en fer nouvellement inventé par M. Palmer, une seule ornière conduit le charriot. Supposons que le poids du charriot soit de 8960 livres, et que la longueur de chaque pièce soit de 8 pieds, la largeur étant de 3 pouces, la règle donnera

$$\frac{Wl}{675b} = \frac{8960}{675 \times 3} = 35,4.$$

La racine carrée de 35,4 est de 6 pouces à peu près, c'est l'épaisseur demandée.

L'épaisseur au milieu est

$$6 \times 0,7 = 4,2 \text{ pouces.}$$

La largeur est de 3 pouces, et celle de la partie du milieu de

$$3 \times 0,4 = 1,2.$$

Ces dimensions sont calculées pour le milieu de la longueur; mais le bord du dessous doit avoir la forme d'égale résistance de la *fig.* 24, le côté en ligne droite étant placé en dessus.

151. *Deuxième cas.* Quand une barre est supportée aux extrémités, et que la charge n'est pas placée au milieu entre les appuis, si $l =$ la longueur en pieds, et $f = 15300$ livres,

$$\frac{4\,\mathrm{FB} \times \mathrm{F'B} \times \mathrm{W}}{850\, l\,(1 - p^3 q)} = bd^2,$$

par les articles 84 et 99.

152. *Règle.* Multipliez le rectangle des segmens dans lesquels la charge divise la barre, en pieds, par 4, et divisez le produit par la longueur en pieds; servez-vous de ce quotient au lieu de la longueur de la barre, et achevez l'opération comme dans la règle precédente.

153. *Exemple.* Soit la charge à porter $= 33600$ livres, placée à 3 pieds d'une des extrémités, la longueur totale de la barre étant de 20 pieds. Soit la largeur de la partie la plus large ab, *fig.* 9, $= 4$ pouc. Ici, FB $= 5$ pieds, par conséquent F'B $= 15$ pieds,

$$\frac{4 \times 5 \times 15}{20} = 15.$$

C'est le multiplicateur dont il faut se servir au lieu de la longueur totale.

Si $p = 0{,}7$, et $q = 0{,}625$, alors

$$\frac{15 \times 33600}{850 \times 4 \times (1 - 0{,}625 \times 0{,}7^3)} = \frac{15 \times 33600}{4 \times 677} = 189$$ à peu près.

La racine carrée de $189 = 13{,}5$. C'est l'épaisseur demandée.

L'épaisseur *ef* sera

$$0{,}7 \times 13{,}5 = 9{,}45 \text{ pouces};$$

et la largeur de la partie du milieu de la section sera

$$4 - (4 \times 0{,}625) = 4 - 2{,}5 = 1{,}5 \text{ pouce}.$$

154. *Troisième cas.* Quand le poids est distribué uniformément sur la longueur d'une barre, on a, par les articles 84 et 102,

$$\frac{Wl}{1700 \times (1 - qp^3)} = bd^2.$$

155. *Règle.* Servez-vous de la moitié du poids, au lieu du poids entier qui charge la barre, et calculez du reste par la règle du premier cas de l'art. 149.

La forme d'égale résistance, dans ce cas, est une ellipse; mais, dans la pratique, elle demande à être réduite à celle qu'indique la figure 24.

156. Je me propose de donner pour exemple de cette règle son application à la construction de bâtimens à l'épreuve du feu, mais on peut également l'appliquer aux chevrons, aux poutres, et en général à tous les cas où la charge se trouve uniformément distribuée sur toute la longueur.

Un plancher à l'épreuve du feu se construit ordinairement en plaçant des pièces de fonte parallèles entre elles, et en travers dans le sens de la largeur où de la plus petite dimension de la surface qu'il doit couvrir, et en remplissant les intervalles par des arceaux en briques ou de toute autre matière convenable, comme on le voit fig. 10. On peut aussi les faire avec des feuilles plates en fonte, portant sur des traverses et qu'on recouvre d'un ou de deux lits de briques, qui servent de carrelage au-dessus d'elles; quand la distance entre les solives est considérable, on peut donner de la force à ces planches en les liant en dessus au moyen de bandes de fer, comme cela se pratique pour les planchers des ponts en fer.

Quand on emploie des arceaux, les planchers de cette espèce sont d'autant moins dispendieux que ces arceaux ont plus d'écartement; mais alors il est nécessaire de se précautionner contre la poussée des arches, en y mettant des liens de

fer ; et, comme ces arceaux doivent être aplatis, on est obligé d'en limiter l'écartement, autrement ils seraient trop faibles pour remplir l'objet qu'on doit se proposer. Si par exemple un arceau ne doit avoir en élévation que la dixième partie de son écartement, et que sa largeur ne soit que d'une demi-brique ou de 4 ½ pouces, la plus grande ouverture qu'on puisse donner avec sécurité à l'arceau, pour un plancher ordinaire, n'est que de cinq pieds. S'il ne devait s'élever que de la douzième partie, il ne faudrait pas donner plus de quatre pieds d'ouverture ; enfin, l'écartement devrait être borné à 3 pieds, si l'élévation ne devait être que de la dix-septième partie.

Pour les arceaux dont l'épaisseur est d'une brique entière, ou de 9 pouces, et qui ne doivent pas être plus chargés que les précédens, s'ils doivent être élevés d'un dixième de l'écartement, celui-ci ne peut pas, avec sûreté, être de plus de 8 pieds. On ne le fera que de 7 pieds pour une élévation d'un douzième, et enfin, de cinq pieds seulement quand l'arceau ne devra s'élever que d'un dix-septième.

Ces limites ont été calculées d'après la force ordinaire des briques, et dans la supposition que la charge, sur le plancher, ne sera jamais plus grande que 170 livres sur un pied carré en sus du poids du

plancher même. Si le poids était plus considérable, il faudrait que l'écartement fût moindre, ou que l'élévation fût plus forte à proportion (1).

Pour des arceaux d'une demi brique d'épaisseur, la largeur de la barre *cd*, *fig.* 9, doit être d'environ 2 pouces, et pour ceux dont l'épaisseur est de 9 pouces, cette largeur doit être de $2 \frac{1}{2}$ à 3 pouces.

Exemple. On veut établir une chambre à l'épreuve du feu; mais, à raison de sa situation, on ne peut pas la voûter à la manière ordinaire, parce que, pour les voûtes de cette espèce, il faut des appuis trop forts, et que d'ailleurs cette méthode a l'inconvénient de faire perdre beaucoup d'espace dans une chambre basse. La distance la plus grande d'un mur de la chambre au mur parallèle est de 12 pieds; on veut y placer des solives en fonte, de 3 pouces de large, à 5 pieds de distance les unes des autres, et remplir les intervalles avec des arceaux en brique, de 9 pouces d'épaisseur; on demande l'épaisseur des barres? Voy. *fig.* 10.

---

(1) Les principes de la force des arceaux et de leurs limites seront examinés dans la seconde partie de cet ouvrage. Voyez aussi les principes élémentaires de charpente, art. 249 — 270.

La quantité d'ouvrage en briques, qui sera porté sur un pied de longueur des solives, sera

$$5 \times 0{,}75 = 3{,}75 \text{ pieds cubes},$$

et le poids d'un pied cube de brique, étant d'environ 100 livres, le poids sur un pied de longueur sera de 375 livres.

Mais comme le dessus du plancher doit servir, et que le plus grand poids étranger qui le chargera sera vraisemblablement celui des personnes qui pourront remplir la chambre, nous pouvons évaluer ce poids à 120 livres par pied carré, et alors nous avons,

$$5 \times 120 = 600 \text{ livres},$$

pour le poids d'un pied en longueur, et en supposant que le poids du carrelage et celui du fer soit de 350 livres par chaque pied de longueur, toute la charge, sur chaque pied de la longueur, sera

$$375 + 600 + 350 = 1325 \text{ livres, ou}$$

$$12 \times 1325 = 15900 \text{ livres},$$

le poids total qui portera sur une solive. Et comme la moitié de ce poids multiplié par la longueur et divisé par la largeur et un nombre constant (1),

(1) Voyez la note relative à l'art. 148.

est égale au carré de l'épaisseur, nous aurons

$$\frac{7950 \times 12}{675 \times 3} = 47,11,$$

dont la racine carrée est à peu près 7 pouces. C'est l'épaisseur demandée, et

$7 \times 0,7 = 4,9$, l'épaisseur de la partie du milieu, et

$3 \times 0,4 = 1,2$ pouce, la largeur de la partie du milieu.

En déterminant la largeur, on évite le risque de calculer pour une pièce plus mince qu'elle ne doit être pour résister convenablement à la poussée des briques.

Au moyen de cet exemple, il nous sera facile de dresser une table de l'épaisseur des barres propres aux planchers à l'épreuve du feu, et qui pourra souvent être utile. Dans cette opération, je n'aurai pas égard à la différence entre le poids d'un plancher de 9 pouces, et celui d'un plancher de $4\frac{1}{2}$ pouces, parce qu'un plancher plus léger sera plus exposé aux accidens qui peuvent résulter de la percussion, et qu'ainsi sa force doit être proportionnellement plus grande.

Table des solives de fonte pour des planchers à l'épreuve du feu, quand les poids étrangers que ces planchers ont à supporter, ne s'élèvent pas au-delà de 120 *liv.*, *avoir du poids* (54,5 kil.), *par pied carré* (Voyez PLANCHER, table alphabétique).

Longueur des solives.	Arceaux d'une demi-brique, largeur de la solive, 2 pouces.			Arceaux de 9 pouces, largeur des solives, 3 pouces.		
	Écart. 3 pi.	Écart. 4 pi.	Écart. 5 pi.	Écart. 6 pi.	Écart. 7 pi.	Écart. 8 pi.
Pieds.	épaisseur.	épaisseur.	épaisseur.	épaisseur.	épaisseur.	épaisseur.
8	$4\frac{1}{2}$ po.	$5\frac{1}{4}$	$5\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{4}$	$5\frac{3}{4}$	6
10	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	7	$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$
12	$6\frac{1}{2}$	$7\frac{3}{4}$	$8\frac{1}{2}$	$7\frac{3}{4}$	$8\frac{1}{2}$	9
14	$7\frac{1}{2}$	9	10	$9\frac{1}{4}$	10	$10\frac{1}{2}$
16	9	$10\frac{1}{4}$	$11\frac{1}{4}$	$10\frac{1}{2}$	$11\frac{1}{2}$	12
18	10	$11\frac{3}{4}$	$12\frac{3}{4}$	$11\frac{3}{4}$	13	$13\frac{1}{2}$
20	$11\frac{1}{4}$	13	14	13	$14\frac{1}{4}$	15
22	$12\frac{1}{4}$	$14\frac{1}{4}$	$15\frac{1}{2}$	$14\frac{1}{4}$	$15\frac{3}{4}$	$16\frac{1}{2}$
24	$13\frac{1}{4}$	$15\frac{1}{2}$	17	$15\frac{1}{2}$	17	18

Pour les arceaux de l'épaisseur d'une demi-brique, la largeur *ab*, *fig.* 9, doit être de 2 pouces, et l'épaisseur de la partie moyenne des 0,8 d'un pouce. L'épaisseur *ef* des $\frac{7}{10}$ de l'épaisseur totale ; celle-ci est donnée dans la table, en pouces par pied pour chaque longueur, et pour chaque écartement différent.

16..

Pour les arceaux de 9 pouces, la largeur *ab*, *fig.* 9, doit être de 3 pouces, et la largeur de la partie moyenne d'un pouce et deux dixièmes. L'épaisseur est de $\frac{7}{10}$ de l'épaisseur totale comme dans les arceaux de 4 $\frac{1}{2}$ pouces.

S'il s'agissait d'un plancher pour une chambre de plus de seize pieds de largeur, on placerait les solives à 8 pieds l'une de l'autre, et l'on mettrait en travers des pièces pour les supporter à huit pieds de distance et qu'on lierait avec elles à angles droits, comme on lie les solives, et l'on établirait des arceaux entre les pièces les plus courtes. En ayant soin de couler les plus petites pièces avec des renflemens aux extrémités, on pourrait les attacher aux plus grandes, et l'on aurait ainsi un plancher très solide. Cette méthode a de plus l'avantage de permettre d'établir très facilement soit un plancher en bois, soit un plafond.

La construction de ces sortes de planchers met le bâtiment à l'abri du feu, et cela sans perte d'espace, et avec très peu de dépense de plus ; elle serait très utile pour la conservation des archives, des bibliothèques, et même de toutes sortes de propriétés. N'est-il pas du plus grand intérêt de pouvoir préserver des dangers d'un incendie un établissement public tel qu'un muséum destiné à réunir et à conserver les monumens dispersés de

la littérature et des arts, qui, de toute autre manière, se trouveront toujours exposés à être enveloppés dans une ruine commune dont l'idée est mille fois plus effrayante que celle de leur entière dispersion.

157. *Quatrième cas.* Quand une barre est fixée par un bout, et qu'une charge est placée sur l'autre bout, comme aussi lorsqu'elle est portée sur un centre de mouvement, on a, par l'art. 84,

$$Wl = \frac{fbd^2}{6} \times (1 - p^3 q);$$

ou, lorsque l désigne des pieds, et que $f = 15300$ liv.,

$$\frac{Wl}{212 \times (1 - qp^3)} = bd^2.$$

158. *Règle* 1. Calculez par la règle donnée pour le premier cas, art. 149, et servez-vous, pour diviseur, de 212 au lieu de 850.

Ou, quand la largeur du milieu n'est que les quatre dixièmes de la largeur des extrémités, et que l'épaisseur *ef*, *fig.* 9, n'est que les sept dixièmes de l'épaisseur totale, faites le calcul avec les règles des articles 107, 108 ou 109, et prenez pour diviseur 168 au lieu de 850.

La figure d'égale résistance est ici une parabole (voy. *fig.* 25 et 26).

159. *Règle 2.* Si le poids est distribué uniformément sur toute la longueur, prenez la charge entière qui porte sur la barre, pour représenter le poids, et calculez par la règle du premier cas, art. 149, en vous servant pour diviseur du nombre 425 au lieu de 850.

160. Prop. 6. Déterminer une règle pour trouver l'épaisseur d'une pièce de fonte dont la partie du milieu laisse des intervalles à jour, comme dans les figures 11, 12 et 27, qui puisse résister à une pression donnée, l'effort qui s'exerce sur le métal ne surpassant pas sa force élastique.

161. Quand l'épaisseur est de plus de 12 à 14 pouces, des parties angulaires au milieu deviennent nécessaires, comme dans la *fig.* 27. L'arrangement de ce milieu est, jusqu'à un certain point, arbitraire, pourvu qu'il y ait assez de liens perpendiculaires et en diagonale pour tenir solidement les unes avec les autres les parties supérieures et les inférieures. Les parties du milieu doivent avoir les mêmes dimensions que les autres, afin qu'elles ne puissent pas être rendues inutiles par une contraction irrégulière.

Si les pièces exigent un longueur assez grande pour ne pouvoir pas être coulées d'un seul morceau, et il n'est pas avantageux d'en couler de très longues, on peut les assembler au milieu, comme

l'indique la *fig.* 27. La liaison se fait seulement par en bas; les parties du dessus aboutissent l'une contre l'autre; et il suffit d'employer quelque moyen pour les assujettir quand elles sont en place et chargées. La *fig.* 28 est le plan du dessous de ces pièces, pour faire voir comment on peut exécuter leur liaison.

162. *Premier cas.* Quand la pièce est supportée aux extrémités et que la charge agit sur le milieu de la longueur, on a, par les art. 85 et 100,

$$\frac{Wl}{4} = \frac{fbd^2}{6}(1 - p^3);$$

ou, faisant l=la longueur en pieds, et f=15300 liv.,

$$\frac{Wl}{850(1-p^3)} = bd^2.$$

Maintenant nous pouvons, en général, faire $p = 0,7$, et alors

$$\frac{Wl}{558} = bd^2;$$

ou, dans la pratique,

$$\frac{Wl}{560} = bd^2 \text{ (1)}.$$

---

(1) Si l'on faisait $p = 0,6$, on aurait $\frac{Wl}{135} = d^3$ et

163. *Règle*. Multipliez la longueur en pieds, par le nombre de livres de la charge, et divisez le produit par 560 fois la largeur en pouces; la racine carrée du quotient sera l'épaisseur demandée, mesurée en pouces. On peut voir aux art. 32 et 34 quelle est la forme des pièces de cette espèce. L'épaisseur entre la partie supérieure et la partie inférieure sera $= 0,7d$ pouces, d étant l'épaisseur déterminée par la règle.

164. *Exemple*. Une pièce de 30 pieds de portée est destinée à porter une charge de 6 tonneaux (13440 livres avoir du poids) en son milieu; sa largeur doit être de 4 pouces; on demande son épaisseur.

On a par la règle

$$\frac{30 \times 13440}{4 \times 560} = 180.$$

La racine carrée de 180 est de 13,5 à peu près; c'est, en pouces, l'épaisseur totale.

$b = 0,2\,d$, et l'épaisseur de la section en AB ou en CD, *fig.* 11, serait la même que la largeur de la pièce; et, comme l'équation pour une pièce carrée de même épaisseur est $\frac{W\,l}{850} = d^3$; la force de cette pièce serait à celle de la pièce carrée de même épaisseur :: 1 : 6,3.

L'épaisseur entre les deux parties supérieure et inférieure est

$$0,7 \times 13,5 = 9,45.$$

Si l'épaisseur était donnée, qu'elle fût de 16 pouces, par exemple, et qu'on voulût connaître la largeur, on aurait

$$\frac{30 \times 13440}{16 \times 16 \times 560} = 2,82, \text{ pour la largeur en pouc.}$$

L'épaisseur entre les deux parties, supérieure et inférieure, serait dans ce cas,

$$0,7 \times 16 = 11,2 \text{ pouces.}$$

165. *Deuxième cas.* Quand une pièce est appuyée par ses extrémités, mais que la charge n'est pas placée en son milieu, si l = la longueur en pieds, que $p = 0,7$, et $f = 15300$ liv., on a

$$\frac{4BC \times CD \times W}{558l} = bd^2. \quad \text{(Voyez } fig. \text{ 12) ou}$$

$$\frac{BC \times CD \times W}{139l} = bd^2.$$

166. *Règle.* Multipliez le rectangle des segmens dans lesquels la charge divise la pièce au point où son action s'exerce, en pieds, par le poids en

livres, et divisez le produit par 139 fois (1) la longueur en pieds multipliée par la longueur en pouces; la racine carrée du quotient sera l'épaisseur demandée en pouces.

L'épaisseur entre les deux parties, supérieure et inférieure, sera égale à 0,7 multiplié par l'épaisseur totale. Consultez les articles 32 et 34, relativement à la forme, etc., des pièces de cette espèce.

167. *Exemple.* Soit CB, *fig.* 12, = 10 pieds, et DC = 6 pieds. La longueur totale sera de 16 pieds. Soit la charge à porter en A=20000 liv., la largeur de la pièce étant de 2 pouces. On demande l'épaisseur?

La règle donne

$$\frac{10 \times 6 \times 20000}{139 \times 16 \times 2} = 270,$$

et la racine carrée de $270 = 16\frac{1}{2}$, à peu près; c'est l'épaisseur en pouces.

De même,

$$0,7 \times 16,5 = 11,55 \text{ pouces},$$

pour l'épaisseur de *a* en *b*, *fig.* 12.

---

(1) Dans la pratique on peut, avec une exactitude suffisante, se servir du nombre 140 pour diviseur.

168. *Troisième cas.* Quand une charge est distribuée uniformément sur la longueur d'une barre, la longueur l étant mesurée en pieds, si $p = 0,7$ et $f = 15300$ livres, on a

$$\frac{Wl}{1116} = bd^2,$$ par les art. 85 et 102.

169. *Règle.* Multipliez le poids total en livres par la longueur en pieds, divisez le produit par 1116 fois la largeur en pouces; la racine carrée du quotient sera, en pouces, l'épaisseur cherchée.

Multipliez cette épaisseur par 0,7, vous aurez l'épaisseur entre les deux parties, supérieure et inférieure, de la pièce. Relativement à la forme de cette pièce, voyez l'art. 32.

170. *Exemple.* On veut monter un mur de 20 pieds de hauteur et de 18 pouces d'épaisseur, au-dessus d'une ouverture dont la largeur est de 26 pieds, et le soutenir au moyen de deux pièces en fonte de 3 pouces chacune de largeur; on demande l'épaisseur de ces pièces.

Soit le poids d'un pied cube de maçonnerie en briques = 100 livres; alors, on a . . . .
$20 \times 1,5 \times 26 \times 100 = 78000$ livres, pour le poids du mur.

Par conséquent la règle donne

$$\frac{78000 \times 26}{1116 \times 6} = 303,$$ à peu près,

et la racine carrée de 303 est de 17,5; c'est l'épaisseur demandée.

L'épaisseur entre la partie inférieure et la partie supérieure sera

$$0,7 \times 17,5 = 12,25 \text{ pouces.}$$

171. *Quatrième cas.* Quand la pièce est fixée par un bout et que la charge agit sur l'autre bout; et aussi, quand la charge agit sur un des bouts, et que la pièce est portée sur un centre de mouvement, nous avons, lorsque la longueur est en pieds, que $p = 0,7$, et que $f = 15300$ livres,

$$\frac{Wl}{139} = bd^2.$$

172. *Règle.* Calculez par la règle du premier cas, art. 163, en employant pour diviseur le nombre 140 au lieu de 560.

Si le poids est distribué uniformément sur la longueur d'une pièce fixée par un bout, divisez le poids par 2, et faites le reste du calcul comme il est dit ci-dessus.

Inflexions résultant de pressions transversales.

173. Prop. 7. Déterminer une règle pour trouver la flèche de courbure d'une barre de fonte,

quand la section est rectangulaire et uniforme dans toute l'étendue de la longueur; la pression étant supposée égale à 15300 livres sur un pouce carré.

Les mêmes règles serviront pour les cylindres solides ou creux, pour les pièces de la forme représentée *fig.* 9, 11, 12 et 26; quand elles sont uniformes dans toute leur longueur, et que l'épaisseur employée comme diviseur est la plus grande épaisseur.

174. *Premier cas.* Quand une barre est appuyée à ses extrémités et chargée en son milieu, comme dans la *fig.* 1.

On a par l'art. 87,

$$\frac{2el^2}{3d} = \text{l'inflexion},$$

quand l=la moitié de la longueur; par conséquent $\frac{3d \times DA}{2l^2} = e$, égale la plus grande extension d'un pouce en longueur tant que la force d'élasticité reste parfaite.

Dans l'expérience décrite article 45, la force élastique s'est conservée parfaitement quand la barre a été chargée de 300 liv., nous avons donc

$$\frac{3d \times DA}{2l^2} = \frac{3 \times 1 \times 0,16}{2 \times 17^2} = \frac{1}{1204} = 0,00083 \text{ pouces} = e,$$

ou l'extension d'un pouce en longueur par une force égale à 15300 livres sur un pouce carré; ou, généralement, la fonte s'alonge de $\frac{1}{1204}$ partie de sa longueur quand elle est pressée par une force équivalente à un poids de 15300 livres sur un pouce carré.

Si l'on substitue dans l'équation cette valeur de e, et que l'on fasse $l =$ la longueur totale en pieds, on a

$$\frac{2 \times 0{,}00083 \times 12^2 \times l^2}{3 \times 4 \times d} = \mathrm{DA};$$

ou
$$\frac{0{,}01992 l^2}{d} = \mathrm{DA}.$$

Il paraît donc que l'équation

$$\frac{0{,}02 l^2}{d} = \mathrm{DA},$$

peut être employée sans erreur sensible.

Par conséquent, l'inflexion d'une barre uniforme et rectangulaire appuyée à ses extrémités, peut se déterminer par la règle suivante :

175. *Règle.* Multipliez le carré de la longueur en pieds par 0,02, ce produit, divisé par l'épaisseur en pouces, sera égal à l'inflexion en pouces.

176. *Exemple.* On demande quelle sera l'inflexion au milieu d'une barre de 20 pieds de long,

et de 15 pouces d'épaisseur, qui éprouvera une pression égale à sa force élastique?

On trouvera par la règle

$$\frac{0,02 \times 20^2}{15} = 0,533 \text{ pouces.}$$

Ainsi, une pièce chargée comme celle de l'exemple art. 110, sera infléchie de plus d'un demi pouce au milieu. Si l'on voulait réduire cette courbure à un quart de pouce, il faudrait doubler la largeur de la pièce.

L'inflexion d'une barre uniforme peut aussi se trouver par la Table II, art. 6.

177. *Deuxième cas*. Quand une barre uniforme rectangulaire est soutenue aux extrémités, et que la charge est distribuée uniformément sur la longueur. On a vu, art. 102, équation h, que dans ce cas l'effort sur un point quelconque est proportionnel aux rectangles des segmens dans lesquels ce point divise la barre; et l'inflexion, pour ce cas, se calcule par l'article 92, équation g, et en comparant les équations b et g, on a

$$\frac{2}{3} : \frac{5}{6} :: \frac{0,02l^2}{d} : \frac{0,025l^2}{d}.$$

Par conséquent l'inflexion DA, au milieu d'une barre uniformement chargée, est égale à $\frac{0,025l^2}{d}$.

178. *Règle.* Multipliez le carré de la longueur en pieds par 0,025 ; le quotient de la division de ce produit par l'épaisseur sera égal à l'inflexion du milieu de la barre, mesurée en pouces.

179. *Exemple.* Soit demandé de déterminer l'inflexion qu'on doit s'attendre que prendra une barre comme celle de l'exemple du troisième cas, prop. I, art. 115, où la longueur est de 15 pieds, l'épaisseur de 12 $\frac{1}{4}$ pouces.

La règle donne

$\frac{15 \times 15 \times 0,025}{12,25} = 0,46$ pouces. C'est l'inflexion cherchée.

180. Ce mode de calcul peut souvent détruire des craintes mal fondées, de même qu'il peut nous faire connaître quand une construction est dangereuse. Car si une pièce est chargée de manière à prendre une courbure plus forte que celle déterminée par la règle qui s'y applique, la construction peut, à juste titre, être considérée comme mal assurée. Le même mode de calcul nous donne un moyen facile d'essayer la bonté d'une barre; car en la supposant chargée d'une partie quelconque, d'un quart, par exemple, du poids qu'elle devra porter, alors l'inflexion doit être du quart de l'inflexion calculée pour ce poids. Si l'on éprouve une barre en la chargeant d'un poids

plus fort que celui qu'elle est destinée à porter, l'effort qui s'exerce sur elle peut être assez considérable pour qu'elle puisse ensuite être rompue par le poids le plus faible ; il est d'ailleurs difficile et dangereux de faire ces sortes d'épreuves.

181. *Troisième cas.* Quand une barre est fixée sur un centre de mouvement, que la force est appliquée à l'autre bout, l'inflexion de la partie fixée étant insensible. C'est le cas des manivelles des machines.

L'inflexion sera la même que celle du 1er cas, art. 174; mais, alors, la longueur de la barre est double de celle que nous avons ici : donc

$$\frac{0,08\,l^2}{d} = \text{DA ou l'inflexion.}$$

182. *Quatrième cas.* Si une pièce rectangulaire uniforme est fixée par un bout, et que la force s'exerce sur l'autre bout, l'inflexion du bout où cette force s'exerce sera $= \frac{0,08\,l^2}{d} \times (1+r)$.

En effet, l'inflexion résultant de l'alongement de la partie de la barre qui fait saillie est $= \frac{0,08\,l^2}{d}$ l représentant la longueur de cette portée en pieds, et si l'on fait $r =$ la longueur de la partie fixée divisée par l, alors par l'équation c, art. 96, on aura

$$\frac{0,08\,l^2}{d} \times (1+r) = \text{l'inflexion.}$$

183 *Règle.* Divisez la longueur de la partie fixe de la barre par la longueur de celle qui cède à l'effort, et ajoutez 1 au quotient; multipliez alors ce quotient augmenté par le carré de la longueur en pieds, et par 0,08, le produit divisé par l'épaisseur en pouces, donnera l'inflexion aussi en pouces.

184. *Exemple.* Supposons que AB, *fig.* 26, soit une pièce uniforme qui serve de balancier à une pompe à feu, que l'extrémité B fasse jouer la pompe, et que l'extrémité A où la force s'exerce soit à 10 pieds du centre de mouvement dont le point B est éloigné de 7 pieds, enfin que l'effort en B soit égal à la force élastique de la pièce; combien d'espace parcourra le point A avant que la pièce ne communique toute la force au point B, l'épaisseur de la pièce étant de 12 pouces ?

Dans ce cas,

$$\frac{7}{10}=0,7, \text{ et } 1+0,7=1,7,$$

donc

$$\frac{1,7\times 10\times 10\times 0,8}{12}=1,33 \text{ pouce.}$$

185. Prop. 8 Déterminer une règle pour trouver l'inflexion d'une barre de fonte de largeur uni-

forme quand le contour de l'épaisseur est une parabole, et que la pression est égale à 15300 liv. par pouce carré.

La même règle sera applicable aux pièces dont la section perpendiculaire est de même forme que celle des *figures* 9 et 11, quand leur largeur est uniforme.

186. *Premier cas.* Lorsqu'une barre est appuyée aux extrémités, et qu'elle est chargée en son milieu.

L'inflexion pour ce cas est calculée dans l'article 89, équation d; et en la comparant avec l'inflexion d'une barre uniforme, nous avons

$$\frac{2}{3} : \frac{4}{3} :: \frac{0{,}02\, l^2}{d} : \frac{0{,}04\, l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

187. *Règle.* Multipliez le carré de toute la longueur de la barre en pieds, par 0,04; divisez le produit par l'épaisseur du milieu en pouces, le quotient sera égal à l'inflexion en pouces.

188. *Exemple.* Soit l'épaisseur d'une pièce de fonte = 18,4 pouces, et sa longueur = 20 pieds; en supposant que la pièce dont on trouve l'épaisseur par l'exemple du 1[er] cas, prop. 5, art. 150, est parabolique, la règle donne

$$\frac{20 \times 20 \times 0{,}04}{18{,}4} = 0{,}87 \text{ pouces};$$ c'est l'inflexion cherchée.

Si l'épaisseur de la pièce était uniforme, l'inflexion ne serait que de la moitié de cette quantité, ou de 0,435 pouce.

189. *Deuxième cas.* Si une pièce parabolique, de largeur uniforme, est fixée par un bout, et que l'effort s'exerce sur l'autre bout, l'inflexion du bout où porte la charge sera

$$\frac{0,16\,l^2}{d}(1+r);$$

ici l est la longueur en pieds de la partie sur laquelle la force agit, et $r =$ le quotient résultant de la division de la longueur de la partie fixée par la longueur l.

190. *Règle.* Divisez la longueur en pieds de la partie fixée par la longueur en pieds de la partie qui cède à la force, et ajoutez 1 au quotient; multipliez ensuite le carré de la longueur en pieds par le quotient ainsi augmenté, et par 0,16; divisez le produit par l'épaisseur du milieu en pouces; le quotient sera égal à l'inflexion en pouces.

191. *Exemple.* Soit AB, *figure* 26, le balancier d'une machine à vapeur dont la puissance motrice agit en A, et dont la résistance est en B; le centre du mouvement étant en C. Soit AC = 12 pieds, et CB = 10 pieds; soit enfin la largeur au milieu = 30 pouces; on veut déterminer l'es-

pace que parcourt le point A en s'infléchissant avant que la force entière se soit exercée en B; la pression étant égale à la force élastique de la pièce.

Dans ce cas la longueur de la partie CB, qu'on peut considérer comme fixe, est de 10 pieds et

$$\frac{10}{12} = 0,833, \text{ et } 1 + 0,833 = 1,833 ;$$

par conséquent

$$\frac{12 \times 12 \times 1,833 \times 0,16}{30} = \frac{12 \times 22 \times 0,16}{30} = 1,408$$

pouces. C'est l'inflexion du point A.

Peu de personnes prennent des précautions contre l'étendue de la courbure des diverses parties des machines, surtout lorsqu'elles sont faites avec une matière qu'on a regardée comme étant presque inflexible. Dans une machine bien exécutée, l'importance qu'il y a à ce que toutes les parties soient capables de transmettre le mouvement et la force avec précision et régularité, est si évidente, qu'on a de la peine à concevoir que les lois de la résistance aient pu être autant négligées.

192. Prop. 9. Déterminer une règle pour trouver l'inflexion d'une pièce en fonte de largeur uni-

forme, quand l'épaisseur à l'extrémité n'est que la moitié de l'épaisseur au milieu, et que la force qui agit est égale à 15300 livres sur un pouce carré.

193. *Premier cas.* Quand une barre est appuyée aux extrémités et chargée en son milieu, on a, art. 93, équation h,

$$\frac{1,09\, el^2}{d} = \text{l'inflexion DA.}$$

Comparant cette valeur avec l'équation b, art. 87, on trouve

$$\frac{2}{3} : 1,09 :: \frac{0,02\, l^2}{d} : \frac{0,0327\, l^2}{d} = \text{DA}$$

ou l'inflexion.

194. *Règle.* Multipliez le carré de la longueur en pieds par 0,0327, et le produit divisé par l'épaisseur au milieu, mesurée en pouces, sera égal à l'inflexion en pouces.

195. *Deuxième cas.* Quand une barre est fixée par un bout, et que la force s'exerce sur l'autre bout, on a dans ce cas

$$\frac{0,13\, l^2}{d}(1+r) = \text{l'inflexion.}$$

196. *Règle.* Calculez l'inflexion par la règle

de l'article 190; mais au lieu de multiplier par 0,16, multipliez par 0,13.

197. Prop. Déterminer une règle pour trouver l'inflexion d'une pièce engendrée par la révolution d'une parabole cubique, quand la pression est égale à 15300 livres sur un pouce carré.

Les mêmes règles seront applicables à tous les cas où les sections seront des figures semblables, et où le cube de l'épaisseur sera partout proportionnel à la longueur de levier avec laquelle agit la puissance.

198. *Premier cas.* Lorsqu'une pièce est appuyée aux deux bouts, et chargée en son milieu, on a par l'équation e, art. 90,

$$\frac{6el^2}{5d} = \text{DA ou l'inflexion.}$$

Comparant cette équation avec l'équation 11, on trouve

$$\frac{2}{3} : \frac{6}{5} :: \frac{0,02\,l^2}{d} : \frac{0,036\,l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

199. *Règle.* Substituez 0,036 à la place de 0,04 dans la règle de l'art. 187, prop. 4, et calculez ensuite l'inflexion par cette même règle.

200. *Deuxième règle.* Quand une barre est fixée par un bout, et que la force agit sur l'autre,

alors

$$\frac{0,144\,l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

201. *Règle.* Dans la règle donnée prop. 8, art. 190, employez 0, 144 au lieu de 0,16 pour multiplicateur, et calculez l'inflexion avec cette règle ainsi modifiée.

202. Prop. 11. Déterminer une règle pour trouver l'inflexion d'une barre de fonte de largeur uniforme, et dont le contour de l'épaisseur est une ellipse; lorsque la force qui s'exerce est égale à 15300 livres sur un pouce carré.

Si l'on compare les équations b et f, on trouvera que

$$\frac{2}{3} : 0,8547 :: \frac{0,02\,l^2}{d} : \frac{0,0257\,l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

203. *Règle.* L'inflexion se calculera par la règle de la prop. 8, art. 187, mais en se servant pour multiplicateur de 0, 0257 au lieu de 0,04.

204. Prop. 12. Déterminer une règle pour trouver l'inflexion d'une pièce d'épaisseur uniforme, quand la largeur est bornée par un triangle, et que la pression sur un pouce carré est de 15300 livres.

De la comparaison des équations b et c, art. 87 et 84, on tire

$$\frac{2}{3} : 1 :: \frac{0,02\, l^2}{d} : \frac{0,03\, l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

205. *Premier cas.* Quand une barre est appuyée à ses extrémités, et chargée en son milieu.

206. Calculez par la règle de la prop. 8, art. 187, et multipliez par 0,03 au lieu de 0,04.

207. *Deuxième cas.* Si la pièce est supportée à l'une de ses extrémités, et fixée à l'autre extrémité, dans ce cas

$$\frac{0,12\, l^2}{d} = \text{l'inflexion.}$$

208. *Règle.* Calculez l'inflexion par la règle de la prop. 8, art. 190; mais servez-vous pour multiplicateur de 0,12 au lieu de 0,16.

208ᵃ. Les règles tirées des douze propositions précédentes sont applicables à toutes sortes de matériaux. Si l'on voulait, par exemple, faire l'application de l'une d'elles au chêne: en consultant la Table des propriétés des corps à la fin de cet essai, on trouverait au mot CHÊNE, que sa force est 0,25 de celle de la fonte; ainsi dans une règle, pour déterminer la force, il faudrait multiplier le nombre constant par 0,25. Par exemple, dans les règles de la prop. I, premier cas,

$$850 \times 0,25 = 212,5,$$

On aurait, si l'on devait calculer pour le chêne, 212,5 pour multiplicateur.

Autre exemple. Le chêne est 2,8 fois aussi flexible que la fonte; ainsi lorsqu'on connaîtra l'inflexion de la fonte, on aura celle du chêne soumis à une pression égale à sa force d'élasticité, en multipliant la première par 2,8.

SECTION VIII.

209. *Définition.* J'appelle roideur d'un corps la résistance qu'il oppose à une inflexion donnée, et roideur latérale sa résistance à l'inflexion quand il est soumis à une pression qui s'exerce perpendiculairement à sa longueur.

210. Prop. 13. Déterminer la roideur d'une barre ou d'une pièce uniforme dont la section est un rectangle, encastrée ou fixée par un bout, et qui doit résister à une force agissant sur l'autre bout; ou portée dans son milieu sur un centre, et devant résister à des pressions exercées sur ses deux bouts.

Quand une barre éprouve une pression égale à l'étendue de sa force élastique, l'expression du poids qu'elle peut porter est

$$W = \frac{fbd^2}{6l} \text{(art. 79)},$$

et l'inflexion qui résulte de ce poids est (art. 87 et 96, équat. *c*)

$$\frac{2el^2}{3d} \times (1+r).$$

D'après cela, puisque l'inflexion est proportionnelle à la force qui agit; si l'on nomme a l'inflexion donnée, et w le poids qui produit cette inflexion, on a

$$(1+r)\frac{2el^2}{3d} : a :: \frac{fbd^2}{6l} : w = \frac{fbd^3a}{4el^3(1+r)},$$

et comme $\frac{f}{e} = m$(art. 74[a]), on a

$$\frac{4wl^3(1+r)}{am} = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

si la longueur est en pieds, alors

$$\frac{6912wl^3(1+r)}{am} = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (b)$$

mais, pour la fonte, $m = 18400000$ livres; donc

$$\frac{wl^3(1+r)}{2662a} = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (c)$$

équations dans lesquelles l = la longueur en pieds, a l'inflexion en pouces, b et d la largeur et l'épaisseur en pouces, w le poids en livres, enfin r égale la longueur de la partie fixée, divisée par l. Quand $r = 1$, les longueurs sont égales et $(1+r) = 2$.

211. Si la partie encastrée est d'un volume considérable relativement à l'autre, on peut négliger son effet sur l'inflexion, et dans ce cas

$$\frac{WL^3}{2662\,a} = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (d)$$

Si dans une des équations précédentes la largeur est diminuée tandis que l'épaisseur reste la même, l'inflexion sera augmentée; et quand le contour de la largeur devient triangulaire, cette augmentation est alors la moitié de l'inflexion d'une pièce dont la largeur est uniforme; c'est-à-dire que les inflexions causées par les mêmes forces sont 2 : 3 (art. 88).

Si la largeur est partout la même, mais que la barre soit un solide parabolique d'égale résistance, alors l'inflexion sera deux fois aussi grande que celle d'une barre d'épaisseur uniforme, art. 89, et l'équation générale *c* devient

$$\frac{wl\,(1+r)}{1331\,a} = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (e)$$

Si la largeur est partout la même, mais que l'épaisseur soit bornée par des lignes droites, et qu'elle ne soit, à chacune des extrémités, que de la moitié de ce qu'elle est au point de la plus grande pression, alors l'inflexion sera à celle d'une barre

d'épaisseur uniforme, comme 1,635 : 1 (art. 93), et l'équation *c* deviendra

$$\frac{WL^3(1+r)}{1628\,a}\,bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (f)$$

Je vais éclaircir cette proposition par des exemples de son application aux balanciers des pompes, aux manivelles et aux roues.

Balancier des pompes.

212. *Exemple* I. On demande de déterminer la largeur et l'épaisseur du balancier d'une pompe dont la longueur totale est de 24 pieds, et dont les parties de chaque côté du centre de mouvement sont égales; la force qui s'exerce étant supposée de 30000 livres, et l'inflexion ne devant pas être de plus de 0,25 pouce.

Dans le cas d'un balancier uniforme, on a par l'équation *c*, art. 210,

$$\frac{WL^3 1(1+r)}{2662\,a} = \frac{30000 \times 12^3 \times (1+1)}{2662 \times 0,25} = bd^3 = 155790$$

Si la largeur est de 5 pouces, l'épaisseur devra être de 31,5 pouces.

En effet, le cube de 31,5 étant multiplié par 5, est 156279, nombre qui surpasse de fort peu 155790.

Mais si l'épaisseur au milieu est double de l'épaisseur aux deux bouts, il faut se servir du nombre 1628, au lieu de 2662, pour diviseur; et en faisant le calcul par l'équation f, on trouvera $bd^3 = 254742$, et si la largeur est de 5 pouces, l'épaisseur sera de 37 pouces.

213. *Exemple* 2. Si la force qui agit sur une manivelle est de 6000 livres, et si la longueur de cette pièce est de 3 pieds, veut-on déterminer quelle largeur et quelle épaisseur elle doit avoir pour que l'inflexion ne passe pas un dixième de pouce?

Dans ce cas l'équation f, art. 211, peut être employée, et l'on a

$$\frac{WL^3}{2662\,a} = \frac{6000 \times 3^3}{2662 \times 0,1} = 653 = bd^3.$$

Si l'on donne 3 pouces à la largeur, l'épaisseur sera de 6 pouces; en effet le cube de $6 \times 3 = 648$.

Lorsque l'épaisseur à l'extrémité où la force agit n'est que la moitié de l'épaisseur à la place de l'axe, on doit se servir du nombre 1628, au lieu de 2662, pour diviseur.

Roues.

214. Pour les roues, si N = le nombre des raies,

l'équation sera

$$\frac{WL^3}{2662\,Na} = bd^3.$$

215. *Exemple* 1. Soit la plus grande force agissant à la circonférence d'une roue $=$ 1600 livres; le nombre des raies $= 8$, et le rayon de la roue $=$ 6 pieds; l'inflexion ne devant pas être de plus d'un dixième de pouce.

Alors, par l'équation précédente (art. 214),

$$\frac{WL^3}{2662\,Na} = \frac{1600 \times 6^3}{2662 \times 8 \times 0,1} = bd^3 = 163.$$

Si l'on prend la largeur de 2,5 pouces, on a

$$\frac{163}{2,5} = 65,2 = d^3;$$

et la racine cubique de 65,2 $=$ 4,03 pouces, à peu près, pour l'épaisseur ou la grosseur du rayon de la roue dans le sens où la force agit. Quand l'épaisseur des raies à la circonférence ne doit être que la moitié de celle qu'on leur donne du côté de l'axe, on prend 168 pour diviseur au lieu de 2662.

Quand une roue éprouve assez d'effort pour que les raies se rompent, la fracture a lieu tout près de l'axe; on s'aperçoit très bien de l'effort qui s'est fait sentir à la partie qui tient à la circonférence;

mais l'effort est si peu considérable, relativement à celui qui se fait sentir vers l'axe, que nous avons cru devoir le négliger dans la règle.

Exemple 2. Si la pression qui s'exerce sur les dents, est de 1090 livres; supposons que la roue ait 4 pieds de rayon, qu'elle ait 6 raies, et qu'une inflexion de $\frac{2}{10}$ de pouce, n'ait pas un effet sensible sur l'action de la roue; supposons enfin que l'épaisseur des raies aille en diminuant, de manière qu'elle ne soit plus que de la moitié à la circonférence de la roue, et que leur largeur soit fixée à 2 pouces;

L'équation de l'article 214 nous donne

$$\frac{\text{W L}^3}{1628 baN} = \frac{1090 \times 64}{2 \times 1628 \times 6 \times 0,2} = 18 \text{ à peu près} = d^3.$$

Mais la racine cubique de 18 est de 2,62, par conséquent, près de l'axe, l'épaisseur des raies doit être de 2 × 2,62, ou de 5,24 pouces; et près de la circonférence, elle doit être de 2 × 1,31, pour que le jeu, quand la force agit, ne soit pas de plus des deux dixièmes d'un pouce.

Cette règle donne la quantité de fonte à employer quand la section est rectangulaire; mais cette quantité doit être disposée dans la forme de plus grande résistance, qui s'accorde avec celle qui convient à la fonte.

Supposons maintenant que la roue d'engrenage que doit faire mouvoir la roue précédente ait un rayon de 0,75 de pied, et 4 raies, ayant toutes 2 pouces de largeur, et que le mouvement angulaire produit par l'inflexion soit le même que ci-dessus, c'est-à-dire, si

$$4 : 0,2 :: 0,75 : 0,0375 = a.$$

Alors

$$\frac{\text{W L}^3}{1628 \text{ L } a \text{ N}} = \frac{4 \text{ W L}^2}{1628 \; b \text{ N} \times 0,2} \text{ ou}$$

$$\frac{4 \times 1090 \times 0,56}{1628 \times 2 \times 4 \times 0,2} = 0,94 = d^3.$$

La racine cubique de 0,94 est 0,97 à peu près.

Ce sera l'épaisseur que doivent avoir les raies près de l'axe.

215ᵉ. Je pense que l'on doit le plus ordinairement compter sur une inflexion de 0,2 de pouce pour une roue de 4 pieds de rayon, pour l'effet des raies, et sur deux autres dixièmes pour l'inflexion de l'arbre. Par suite de cette supposition, la force des raies peut être exprimée par une équation plus simple. Quant à la force de l'arbre qui porte la roue, elle sera examinée dans la section IX, où l'on traite de la torsion.

Lorsque l'inflexion est de 0,2 de pouce pour un

rayon de 4 pieds, elle est à très peu près d'un quart de degré, et avec cette quantité de courbure, les raies étant partout de la même longueur, et leur épaisseur à la circonférence de la roue n'étant que la moitié de celle qu'elles ont à l'axe, on a :

$$\frac{W\ L^2}{81\ N} = bd^3 \quad \ldots\ldots (g).$$

Ce qui donne cette règle de pratique.

Multipliez l'effort évalué en livres, qui s'exerce sur le cercle qui porte les dents, par le carré du rayon en pieds, et divisez le produit par 81 fois la largeur multipliée par le nombre des raies ; la racine carrée du quotient sera égale à l'épaisseur en pouces des raies du côté de l'axe, et la moitié de ce nombre sera égale à l'épaisseur de l'autre extrémité des raies.

Si l'épaisseur du bord du cercle qui porte les dents est égale à l'épaisseur des dents, et que leur largeur soit proportionnée d'après la table, art. 121. Dans ce cas, le nombre des raies devra être égal à 1 $\frac{1}{2}$ fois le rayon de la roue en pieds, divisé par le carré de l'épaisseur des dents en pouces (on prend pour l'épaisseur le nombre entier le plus voisin du nombre que donne la table). L'usage est de mettre un nombre pair de raies ; mais il ne me paraît

pas qu'il y ait aucune bonne raison pour le faire. Les roues sont fréquemment brisées quand on les assujettit à l'arbre avec des coins; mais cette manière de les assujettir commence à être abandonnée pour une nouvelle, et qui lui est bien préférable. Celle-ci consiste à percer le centre de la roue d'un trou exactement cylindrique, et à tourner l'arbre de façon qu'il puisse bien exactement remplir ce cylindre. La roue est fixée et maintenue au moyen d'une cheville qui traverse l'arbre et entre dans des trous qui se répondent au centre de la roue.

216. PROP. 14. Déterminer la roideur d'une barre uniforme, ou d'une pièce de fonte dont les extrémités portent sur des appuis, et qui est soumise à une pression latérale qui s'exerce en son milieu.

Si une barre est uniforme et rectangulaire, alors, en nommant a la plus grande inflexion qu'elle doive prendre, nous avons par l'équation b, art. 87 et art. 100,

$$\frac{2el^2}{12d} : a :: \frac{2fbd^2}{3l} : w = \frac{4fbd^3a}{el^3}.$$

Et comme $\frac{f}{e} = m$ (art. 74^a) $w = \frac{4mbd^3a}{L^3}$ (1) (h).

(1) Par suite de quelque erreur de calcul, le professeur

Quand L = la longueur en pieds

$$w = \frac{mbd^3}{432L^3} \dots\dots\dots (i).$$

Cette équation convient à toute matière dont le module d'élasticité est connu. On trouvera ce module dans la table alphabétique qui termine cet Essai, pour la plupart des matériaux dont on fait communément usage. Il suffira de donner ici un exemple de son application à la fonte.

Le poids du module pour la fonte est de 18400000 livres. Si l'on divise ce nombre par 432, l'équation devient pour ce métal

$$w = \frac{42600\, bd^3a}{L^3} \dots\dots\dots\dots (k).$$

217. Si $a = \frac{L}{40}$ d'un pouce, ou si l'inflexion est d'autant de quarantièmes de pouce qu'il y a de pieds dans la longueur de la barre; l'équation est alors

$$w = \frac{1065bd^3}{L^2},$$

Leslie donne, pour cette équation, $\frac{8mbd^3a}{5l^3} = w$ (élémens de physique), et les conclusions qu'il en tire sont par conséquent erronées. Mon équation est la même que celle qu'avait déjà déterminée le docteur Young.

d'où l'on a tiré

$$0{,}001\ w\ L^2 = bd^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (l)$$

équation qui a servi à calculer la table. 1, art. 5.

Quand l'inflexion est d'autant de centièmes de pouce qu'il y a de pieds dans la longueur de la barre, courbure qui ne devrait jamais être dépassée dans les arbres des machines, à raison de la manière irrégulière dont ils portent sur leurs tourillons et sur leurs supports quand l'inflexion est plus considérable, alors

$$\frac{426\ bd^3}{L^2} = w \ldots\ldots\ldots\ldots (m).$$

Lorsque le poids est distribué uniformément sur la longueur d'une barre uniforme rectangulaire; les dimensions étant toutes comptées en pouces, on a, par les articles 92 et 102,

$$\frac{5el^2}{24d} : a :: \frac{4fbd^2}{3l} = \frac{32fbd^3a}{5el^3};$$

et comme $\frac{f}{e} = m$; $w = \frac{32mbd^3a}{5l^3} \ldots\ldots (n)$.

En comparant cette équation avec l'équation h, il paraît qu'un poids uniformément distribué produit la même courbure au milieu d'une barre qu'y produiraient les cinq huitièmes de ce même poids

s'ils étaient placés sur ce milieu, et c'est ce qui a été démontré autrement par le docteur Young, et par MM. Barlow, Dupin et Duleau.

Quand w représente le poids du barreau même, si l'on nomme p le poids d'un autre barreau de même matière de 12 pouces de longueur et d'un pouce d'équarrissage, on a

$$w = \frac{lbdp}{12},$$

et l'inflexion d'une barre, par son propre poids, est

$$a = \frac{5\,epl^4}{12 \times 32\,d^2 f} = \frac{5\,l^4}{384\,\mathrm{M}\,d^2} \text{ (1)} \ldots\ldots (o).$$

ici M = la hauteur en poids du module d'élasticité (éq. *e*. art. 74[a]).

218. Dans un solide cylindrique uniforme, la force est à celle d'un barreau carré :: 1 : 1,7 à peu près, (art 81).

Donc on aura par l'équation k, art. 216,

$$\frac{\mathrm{w\,L^3}}{25000\;a} = d^4 \ldots\ldots\ldots\ldots (p).$$

(1) Cette équation paraît fournir en théorie le moyen le plus simple de déterminer le module ; mais il n'est pas aussi exact dans la pratique, parce qu'il est difficile de constater la quantité précise d'inflexion qui est due au poids.

équation dans laquelle L est la longueur entre les supports, mesurée en pieds, d le diamètre en pouces, et a l'inflexion en pouces produite par le le poids w en livres.

Si la charge est uniformément distribuée sur la longueur, et que $s =$ le poids en livres sur un pied de la longueur; dans ce cas, $w = Ls$, et l'effet sera le même que si les cinq huitièmes de la charge avaient été placés sur le milieu de la pièce (art. 217).

Ainsi $$L\left(\frac{s}{40000\,a}\right)^{\frac{1}{4}} = d \ldots\ldots (q).$$

Par conséquent, si la charge, sur un pied de longueur, est la même, le diamètre doit être augmenté en raison directe de sa longueur, si l'on veut que l'inflexion soit aussi la même.

Si dans l'équation p, on fait l'inflexion proportionnelle à la longueur, de manière qu'elle soit égale à un centième de pouce pour chaque pied de longueur;

Alors,

$$\frac{w\,L^2}{250} = d^4;\ \text{ou}$$

$$\sqrt{L\left(\frac{w}{250}\right)^{\frac{1}{2}}} = d \ldots\ldots\ldots (r).$$

Cette équation servira pour les arbres qui doi-

vent être des solides cylindriques uniformes.

219. Pour un cylindre, ou pour un arbre creux, il suffira de déterminer quelle partie aliquote du diamètre on donnera à l'épaisseur en métal, en supposant ce diamètre $= 1$. Alors la différence entre deux fois l'épaisseur du métal et 1, sera égale à la partie du diamètre qui devra être creuse. Si l'on nomme n cette partie aliquote, on aura

$$\frac{d}{(1-n^4)^{\frac{1}{4}}} =$$

le diamètre d'un cylindre, creux dont la résistance à la flexion sera la même que celle du cylindre solide dont le diamètre est d (*voy*. équat. *s*.). Et le poids qu'un arbre solide pourra porter, étant multiplié par $(1-n^4)$, sera égal au poids qu'un cylindre creux du même diamètre pourra porter.

Exemples. Si l'épaisseur du métal a été fixée à un cinquième du diamètre, on a

$$1-\frac{2}{5}=\frac{3}{5}=n=0,6\,;$$

$$\text{et } \left(1-0,6^4\right)^{\frac{1}{4}}=0,966=\frac{1}{1,0352}.$$

Et, si l'on détermine par une des équations p, q ou r, suivant la nature de la question, le dia-

mètre d'un solide cylindrique, et qu'on multiplie ensuite le diamètre ainsi trouvé par 1,0352, on aura pour produit le diamètre d'un tube creux de même force, et dont la partie creuse aura les trois cinquièmes du diamètre total.

De même, si l'épaisseur en métal est d'un sixième du diamètre, multipliez par 1,056; et si l'épaisseur en métal est des trois vingtièmes du diamètre, multipliez par 1,07.

Le poids qu'un cylindre creux portera quand l'épaisseur en métal sera exactement de la cinquième partie du diamètre, sera $=0,87$ du poids qu'un solide cylindrique du même diamètre extérieur porterait, ayant à résister à la même pression; car, $(1-n^4)=0,87$, et sa roideur est à celle d'un prisme carré de même épaisseur, comme $1:2$ à peu près.

220. *Exemple.* On demande le diamètre d'un solide cylindrique de 21 pieds de long, et dont l'inflexion produite par un poids de 3472 livres placé sur le milieu de la pièce, ne serait pas de plus d'un demi-pouce.

Par l'équation p, art. 218,

$$\frac{w\,l^3}{25000\,a}=\frac{3472\times 21^3}{25000\times 0,5}=d^4=2572 \text{ ou } d=7,12.$$

Le diamètre demandé est donc $=7,12$ pouces.

221. *Exemple.* On demande le diamètre d'un arbre creux de 21 pieds de longueur, dont le diamètre de la partie creuse soit les sept dixièmes du diamètre total, et qui ne prenne pas une inflexion de plus d'un demi-pouce, étant chargé de 3472 livres sur le milieu de sa longueur.

Cherchez le diamètre du solide cylindrique comme dans l'exemple précédent, et multipliez-le par 1,07 (*voy.* art. 219), c'est-à-dire

$$7,12 \times 1,07 = 7,62 \text{ pouces},$$

c'est le diamètre demandé. L'épaisseur en métal sera les $\frac{3}{20}$ de ce diamètre.

SECTION VI.

Résistance à la Torsion.

222. *Définition.* La résistance qu'un arbre ou un axe oppose à une force qui tend à le tordre, se nomme résistance à la *Torsion.*

223. Si une lame rectangulaire est appuyée aux angles A et B, *fig.* 29, et si un poids est suspendu à chacun des autres angles CD, alors, la force exercée par une charge placée de cette manière, sera semblable à celle qui tend à tordre les arbres des machines, et les autres pièces de même nature. Dans une lame de fonte les fractures auraient lieu en même temps dans les directions AB et CD; mais avant qu'elles n'arrivassent, l'une des forces servirait comme d'un pivot à l'autre; et la résistance aux forces en C et en D, serait sensiblement la même que si la lame était soutenue sur un pivot continu dans la direction AB.

On peut donc considérer cette pression comme une pression latérale de la même nature que celle qui a été examinée à l'art. 77, et *d*D ou *c*C, comme

le bras de levier avec lequel la force agit en D ou en C, la largeur de la section pressée étant AB.

Pour trouver la largeur de la section de fracture, et le levier rapporté à la longueur et à la largeur de la lame, nous avons AB = la largeur, et par les triangles semblables

$$\frac{AD \times BD}{AB} = dD \text{ ou le bras de levier.}$$

Ces valeurs de la largeur et du bras de levier, étant substituées dans l'équation de l'art. 79, elle devient

$$W = \frac{fbd^2}{6l} = \frac{fd^2 \times AB \times AB}{6 \times AD \times BD},$$

ou, puisque

$$AB^2 = BD^2 + AD^2,$$

on a

$$W = \frac{fd^2}{6} \times \frac{BD^2 + AD^2}{AD \times BD}.$$

224. Mais quand une force agit sur l'arbre d'une machine, c'est presque toujours à la circonférence d'une roue placée sur cet arbre; et si R représente le rayon de cette roue, alors

$$\frac{2RW}{D} =$$

la force réunie à la surface de l'arbre; mettant

donc cette valeur, au lieu de W, dans l'équation précédente, nous aurons

$$\frac{2\,RW}{BD} = \frac{fd^2}{6} \times \frac{BD^2 + AD^2}{AD \times BD},$$

ou
$$W = \frac{fd^2}{12\,R} \times \frac{BD^2 + AD^2}{AD}.$$

Si la longueur AD $= l$ en pieds, et que le bras de levier R soit mesuré aussi en pieds; alors, comme pour la fonte, $f = 15300$ livres, nous avons

$$\frac{8,85\,d^2\,(b^2 + 144\,l^2)}{Rl} = W \ldots\ldots (a).$$

Mais la valeur de cette équation est un *minimum* quand $l = \frac{b}{12}$; par conséquent la résistance sera la même, quelle que soit la longueur, pourvu que cette longueur ne soit pas moindre que la largeur; donc, partout où la longueur surpasse la largeur nous avons

$$\frac{212,4\,d^2b}{R} = W.\ (1) \ldots\ldots\ldots\ldots (b).$$

---

(1) Pour le fer forgé l'équation serait $\frac{238d^2b}{R} = W$, car $212,4 \times 1,12 = 238$.

Mais quand le rapport de b à d est moindre que celui de $\sqrt{2}$ à 1, l'arbre ne peut pas résister à une aussi grande force, et celle à laquelle il pourra résister, sera la plus petite quand sa section sera exactement un carré.

225. Quand un arbre est carré, et que sa longueur l est en pieds, son côté d en pouces, et la longueur du levier R en pieds, alors on tire de l'équation de l'article 80

$$W = \frac{fd^2}{3456\,Rl} \times (2d^2 + 144\,l^2);$$

et, quand $f = 15300$ livres,

$$W = \frac{8,85\,d^2}{Rl} \times (d^2 + 72\,l^2) \ldots (c).$$

Dans un arbre carré la résistance a aussi un *minimum* de valeur, et c'est lorsque $\sqrt{72\,l} = d$; ainsi toutes les fois que la longueur sera plus grande que la diagonale de la section, la force sera

$$\frac{150\,d^3}{R} = W\,(1),$$

---

(2) Pour des arbres de fer forgé, l'équation serait

$$\frac{168\,d^3}{R} = W.$$

R représentant le rayon de la roue en pieds, auquel la force W en livres doit être appliquée; et d est le côté de l'arbre ou de l'axe en pouces.

226. Dans un arbre cylindrique la section de fracture est un ellipse, et quand l et R sont en pieds, que $f = 15300$, d étant le diamètre de l'arbre en pouces, on a par l'art. 82

$$W = \frac{5,2\, d^2}{Rl} \times (d^2 + 144\, l^2) \ldots (e).$$

227. On peut encore ici démontrer, par les lois des *maxima* et des *minima*, qu'il se trouve une ligne particulière de fracture où la résistance à la torsion est un *minimum*; dans un corps cylindrique cela arrive quand $12\, l = d$, c'est-à-dire, quand la longueur est égale au diamètre.

Par conséquent toutes les fois que la longueur surpasse le diamètre, l'équation de l'article 226, doit prendre la forme

$$\frac{124,8\, d^3}{R} = W \text{ (1)} \ldots\ldots\ldots\ldots (f)$$

ce qui résulte de la substitution de $\frac{d}{12}$ à la place de l.

---

(1) Pour le fer forgé on prendrait $\frac{140\, d^3}{R} = W$.

227[b]. On démontrerait, de la même manière, que dans un tuyau, ou dans un cylindre creux, dont la longueur est plus grande que le diamètre, la résistance à la torsion est exprimée par l'équation

$$\frac{124,8\,d^3(1-n^4)}{\mathrm{R}}=\mathrm{W}\ldots\ldots\ldots(g).$$

d représentant le diamètre extérieur en pouces, et *nd* le diamètre intérieur, aussi en pouces.

Une proportion avantageuse, dans la pratique, est de faire $n=0,6$, ce qui change l'équation en celle-ci :

$$\frac{108\,d^3}{\mathrm{R}}=\mathrm{W}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(h)$$

dans laquelle *d* est le diamètre extérieur en pouces ; ici le métal aurait exactement, en épaisseur, la cinquième partie du diamètre ; R est, comme ci-dessus, le rayon en pieds de la roue sur la circonférence de laquelle est appliquée la force W, comptée en livres.

228. *Exemple.* On demande de trouver le diamètre d'un arbre pour une roue à eau, dont le rayon serait de 9 pieds, et qui n'aurait pas à résister à une force de plus de 2000 livres agissant à la circonférence.

Si l'arbre devait être un solide cylindrique, alors on déterminerait le diamètre par l'équation f, art. 227, et l'on aurait

$$\frac{WR}{124,8} = \frac{2000 \times 9}{124,8} = 144,2 = d^3;$$

la racine cubique de 144,2 est $5\frac{1}{4}$; c'est en pouces le diamètre démandé.

Si l'arbre devait être un cylindre creux, alors on trouverait le diamètre par l'équation h qui donnerait

$$\frac{WR}{108} = \frac{2000 \times 9}{108} = 166,7 = d^3.$$

La racine cubique de $166,7 = 5\frac{1}{2}$ pouces, ou le diamètre de l'arbre, quand l'épaisseur du métal égale exactement la cinquième partie du diamètre.

229. Mais l'effort latéral sur un arbre sera toujours plus grand que la force qui tend à le tordre quand la longueur de l'arbre surpasse le quart du rayon de la roue; cependant les équations précédentes seront utiles pour calculer la force des tourillons quand ils sont exposés à une force considérable qui tend à les tordre, et ces calculs doivent se faire de la même manière que ceux

de l'article précédent; mais, à raison de ce que les pièces s'usent, il faut donner au diamètre un sixième de plus que ce qui est exigé par les règles.

229ᵃ. Nous nous sommes borné, dans ce qui précède, à chercher quelle force est nécessaire pour résister à la torsion; mais, dans les arbres dont la longueur est considérable relativement à leur diamètre, l'effet de la courbure est aussi fort grand.

Soit *e* l'extension qu'une pièce peut prendre sans danger, quand la longueur est représentée par l'unité. Cette extension doit évidemment limiter le mouvement ou l'angle de torsion; mais puisque la ligne où la plus grande force agit dans une barre dont la longueur est plus grande que son diamètre, est toujours dans la direction de la diagonale d'un carré; si l'on traçait un carré sur la surface de la barre dans son état naturel, il prendrait la forme d'un rhombe par l'action de la force de torsion, et la quantité du mouvement angulaire serait à peu près égale à l'extension de la diagonale multipliée par $\sqrt{2}$, ou au double de l'extension de la longueur de la barre; car si l'on traçait une ligne autour de la barre, qui fît avec l'axe un angle de 45°, sa longueur serait égale

19..

à $l\sqrt{2}$, l représentant la longueur en pieds ; par conséquent, $le\sqrt{2}$ = l'extension, et $2\,le$ = l'arc décrit en pieds, ou $24\,le$ = cet arc mesuré en pouces.

Mais si a = le nombre de degrés d'un arc dont $\frac{d}{2}$ est le rayon ; la longueur d'un arc d'un degré dont le rayon est l'unité, étant de 0,0174533, on a

$$24\,le = \frac{ad}{2} \times 0{,}0174533, \text{ ou}$$

$$\frac{2750\,le}{d} = a \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (i) ;$$

c'est-à-dire que l'angle de torsion a est en raison directe de la longueur et de l'extensibilité du corps, et en raison inverse du diamètre de ce corps.

Si l'on prend la valeur de e pour la fonte, c'est-à-dire si l'on prend $e = \frac{1}{1204}$ on a

$$\frac{2{,}284\,l}{d} = a \text{ (1)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (k).$$

l désigne ici la longueur en pieds de l'arbre, ou de

---

(1) Pour le fer forgé, $e = \frac{1}{1400}$, ainsi $a = \frac{1{,}965\,l}{d}$

toute autre pièce, d est son diamètre en pouces, et a le nombre de degrés de l'angle de torsion.

Exemple. Supposons donc que l'arbre vertical d'un moulin ait 30 pieds de longueur, et 10 pouces de diamètre ; s'il résiste à un effort égal à sa force d'élasticité, nous aurons alors

$$\frac{2,284 \times 30}{10} = 6\tfrac{3}{4} \text{ degrés à peu près.}$$

Dans certains cas ce degré de torsion peut être très avantageux pour prévenir les chocs auxquels sont exposées les machines qui sont mises en mouvement par des chevaux, par le vent ou par d'autres moteurs irréguliers ; mais dans d'autres il aurait du désavantage, parce que le mouvement n'aurait pas assez de précision, et qu'il ne produirait pas aussi bien l'effet demandé.

229[b]. Puisque l'angle de torsion est dans le rapport de l'extension, il doit être également proportionnel à la force qui agit pour le produire, et pour évaluer la roideur avec laquelle un corps résiste à la force qui tend à le tordre, nous avons cette analogie quand le corps est un cylindre creux ; (équations g et i de cette Section).

$$\frac{2750\,le}{d} : a :: \frac{124,8\,d^8(1-n^4)}{\mathrm{R}} : \mathrm{W} = \frac{124,8\,d^4 a(1-n^4)}{2750\,\mathrm{R}le}$$

ou, plus généralement,

$$\frac{fd^4a(1-n^4)}{336600\,Rle}=W.$$

Si m = le poids du module d'élasticité (art. 74[a]),

$$\frac{md^4a\,(1-n^4)}{336600\,Rl}=W.\,\ldots\ldots\ldots.(l).$$

quand $n = o$, l'équation convient au cylindre solide.

Pour un arbre rectangulaire, l'analogie tirée des équations b et i, devient

$$\frac{2570\,le}{b} : a :: \frac{212,4d^2b}{R} : W = \frac{212,4d^2b^2a}{2750\,R\,le},$$

ou

$$\frac{md^2b^2a}{198900\,Rl}=W\,(1)\ldots\ldots\ldots.(m).$$

Il nous reste à montrer l'application de ces équations, et à en déduire des règles pour servir dans la pratique.

La valeur de m est, pour la fonte, de 18400000 livres; l'équation l, appliquée à la fonte, est donc

$$\frac{55d^4a\,(1-n^4)}{lR}=W\,(1)\ldots\ldots.(n).$$

---

(1) Pour le fer forgé, $\frac{74\,d^4\,a\,(1-n^4)}{l\mathrm{R}}=W.$

et l'équation m donne

$$\frac{92{,}5\,d^2 b^2 a}{l\mathrm{R}} = \mathrm{W}\ (1) \ldots\ldots\ldots (o).$$

Règles de pratique et exemples pour la résistance des arbres cylindriques à une force de torsion.

229e. Dans la pratique on connaît la longueur de l'arbre, la force et le bras de levier avec lequel elle agit; celui qui veut faire usage des règles doit aussi fixer le nombre de degrés de torsion qui ne nuira pas à l'action de la machine; cela posé, on déterminera le diamètre de l'arbre par les règles suivantes:

Exemple 1. Pour trouver le diamètre d'un solide cylindrique qui doit résister à une force de torsion, la quantité de son inflexion étant donnée.

Multipliez la force en livres, par la longueur du cylindre en pieds, et par la longueur du levier, aussi en pieds. Divisez le produit par 55 fois le nombre de degrés de l'angle de torsion que

---

(1) Pour le fer forgé, $\frac{124\,d^2\,b^2\,a}{l\mathrm{R}} = \mathrm{W}.$

vous regarderez comme le plus avantageux à l'action de la machine; la racine quatrième du quotient sera égale au diamètre du cylindre en pouces.

Exemple. On demande de déterminer le diamètre d'une suite d'arbres cylindriques de 30 pieds de longueur pour transmettre une force égale à 4000 livres agissant sur la circonférence d'une roue de 2 pieds de rayon, de manière que la torsion des arbres causée par l'action de cette force, ne soit pas de plus d'un degré.

Ici, la longueur totale des arbres doit être prise comme s'ils ne formaient qu'un seul arbre, et l'on a par la règle,

$$\frac{4000 \times 30 \times 2}{55 \times 1} = 4364.$$

La racine quatrième de $4364 = 8,13$; c'est en pouces le diamètre cherché.

Si le travail de la machine doit se faire avec beaucoup de précision, un degré de torsion sera tout ce qu'on pourra admettre; mais, dans les cas ordinaires, on peut en supposer deux, et alors le diamètre serait d'un peu moins de 7 pouces.

Quand il y a beaucoup de rouages, il faut qu'il y ait moins de torsion, et il ne paraît pas qu'il

soit avantageux de dépasser un quart de degré pour les arbres ou les axes.

229[d]. RÈGLE II. Trouver le diamètre d'un cylindre creux destiné à résister à une force de torsion, quand la quantité de torsion est donnée, et que l'épaisseur en métal est d'un cinquième du diamètre.

Multipliez la force en livres par la longueur du cylindre en pieds, et par la longueur du bras de levier, aussi en pieds. Divisez le produit par 48 fois l'angle de torsion en degrés; la racine quatrième du quotient sera égale au diamètre cherché, en pouces.

Exemple. Si l'on veut déterminer le diamètre d'un arbre creux qui soit en état de résister à une force de 800 livres agissant à la circonférence d'une roue de 4 pieds de rayon; l'angle de torsion devant être d'un degré; l'épaisseur en métal d'un cinquième du diamètre, et la longueur de l'arbre de 10 pieds.

Dans ce cas,

$$\frac{800 \times 10 \times 4}{48 \times 1} = 666,6,$$

la racine quatrième de ce nombre est 5,1 à peu près. C'est en pouces le diamètre cherché.

Règle pratique et exemple pour la résistance des arbres carrés à une force de torsion.

229*. Les règles pour les arbres carrés sont des applications de l'équation *o*; et les mêmes choses que dans le cas des cylindres, sont connues.

RÈGLE. Trouver le côté d'un arbre carré qui doit résister à une force de torsion sous un angle déterminé.

Multipliez la force en livres par la longueur du corps de levier avec lequel elle agit, et par la longueur de l'arbre, l'une et l'autre en pieds.

Divisez le produit par 92,5 fois le nombre de degrés de l'angle de torsion; la racine carrée du quotient sera égale en pouces à l'aire de la section de l'arbre.

Exemple. Soit la longueur d'un arbre = 12 pieds, et la force qui le met en mouvement égale à 700 livres, et agissant sur une roue d'engrenage placée sur cet arbre, et dont le rayon, jusqu'au cercle d'engrenage, soit d'un pied; et supposons qu'un degré de torsion n'ait pas d'inconvénient pour le travail de la machine.

Nous aurons par la règle

$$\frac{700 \times 1 \times 12}{92,5 \times 1} = 98,8.$$

La racine carrée de 90,8 = 9,53 ; c'est l'aire de la section en pouces, et la racine carrée de 9,53 = 3,1 à peu près. C'est le côté de l'arbre demandé.

Le lecteur trouvera des détails sur la torsion des fils de métal et sur les lois de l'oscillation de la balance de torsion dans les leçons de Physique du doct. Young, vol. 1, p. 141 — 141. Dans l'Encyclopédie d'Édimbourg du docteur Brewster, art. Mécanique, p. 544—549. Dans les Leçons de Physique de Ferguson, vol. 11, p. 234. Enfin, dans les Élémens de physique du professeur Leslie, vol. 1, p. 243.

SECTION X.

De la force des colonnes, des piliers, ou autres supports comprimés ou tirés dans le sens de leur longueur.

230. Si la longueur d'une colonne est considérable relativement à son diamètre, elle pliera sous un certain poids ; mais, si elle est trop courte pour plier, la force de sa résistance ne peut être surpassée que par une force capable de l'écraser. Mais comme il serait imprudent de charger une colonne, quelque courte qu'on la suppose, au-delà de sa force d'élasticité, des recherches sur ce sujet ne conduiraient à rien d'utile.

Soit AA′, *fig.* 30, un colonne supportée en A′ et soutenant une charge en A ; supposons que cette charge ait produit son effet entier pour comprimer la colonne. Soit E, l'axe neutre ; B et D, les centres de résistance ; et AF la direction de la force. Tirons *d*D parallèle à AF, nous aurons par

les principes de la Statique, en nommant W la force ou le poids,

$$dD : DA :: W : \frac{W.DA}{dD} =$$

la force de compression dans la direction AD; de plus,

$$DA : AF :: \frac{W \times DA}{dD} : \frac{W.AF}{dD} =$$

la pression verticale en D.

Mais, à cause des triangles semblables,

$$BD : BF :: dD : AF = \frac{BF.dD}{BD}, \text{ donc}$$

$$\frac{W.AF}{dD} = \frac{W.BF}{BD} \ldots\ldots\ldots (a).$$

231. On peut prouver de la même manière que la pression en B est exprimée par

$$\frac{W(BF - BD)}{BD} \ldots (b).$$

Il est évident que si BD = BF, la pression sera nulle, c'est-à-dire qu'elle sera nulle quand la direction de la force passera par le point D, ou quand l'axe neutre se confondra avec la surface de la colonne. On peut aussi remarquer que quand BF est plus grand que BD, cette pression est exprimée par une quantité positive, indiquant un alongement, mais qu'elle devient négative

quand BF est plus petit que BD, et qu'elle indique une résistance à la compression. Si BF $= \frac{1}{2}$ BD, les deux points sont alors également comprimés.

La force a été supposée perpendiculaire au plan de section pour lequel les pressions ont été calculées, mais ceci n'est pas essentiel pour l'examen de ce sujet, seulement cette espèce de pression est la plus ordinaire sur les colonnes. En effet, si la force, au lieu d'agir dans la direction de AF, agissait dans celle de AG, nommant C l'angle FAG, et reprenant le calcul, on trouverait que l'équation *a* serait alors

$$\frac{(\text{BF}+\text{AF}\sin \text{C})\,\text{W}.\cos \text{C}}{\text{BD}} = \text{la pression en D} \ldots\ldots (c)$$

et

$$\frac{(\text{BF}+\text{AF}\sin \text{C}-\text{BD})\,\text{W}.\cos \text{C}}{\text{BD}} = \text{la pression en B}.. (d).$$

Mais, quand la force agit dans une direction oblique, il faut un étai en avant du pilier pour qu'il ne soit pas renversé, et dans quelque endroit que cet étai soit placé, c'est là que s'exercerait la plus grande résistance si le pilier était droit. Si le pilier est étayé en DF, alors l'étai placé dans cet endroit devient un point d'appui; et l'action des forces sur le pilier est semblable

à celle considérée dans la *fig.* 24. Mais on a remarqué dans la note de l'article 77, que le mode de calcul qui y est établi n'est pas exact quand la pièce n'est pas à peu près horizontale; cette différence est due à un changement de position de l'axe neutre causé par la direction oblique de la force. Nous allons maintenant chercher la position de cet axe, calculer la force de la section, et développer les changemens qui arrivent quand on fait varier la direction de la force.

232. On peut prouver que la résistance de la section, de chaque côté de l'axe neutre, est égale à la force d'un pouce carré multiplié par l'aire de cette section, multipliée par la distance du centre de gravité à l'axe neutre, et divisée par la distance de la surface comprimée à l'axe neutre, quand B ou D est le centre de percussion de la section (1).

233. Soit x la distance de l'axe neutre au milieu de l'épaisseur; $y =$ EG la distance de la direction AG de la force au milieu de l'épaisseur; $d =$ l'épaisseur; $b =$ la largeur, et f la résistance d'un pouce carré. Alors, l'aire de la partie comprimée de la section sera $(\frac{1}{2}d + x) \times b$, et la partie étendue de la section sera $(\frac{1}{2}d - x) \times b$. Par conséquent,

---

(1) Emerson's mechanics, ed. in-4°, prop. 77.

si $n(\frac{1}{2}d+x)$ et $n(\frac{1}{2}d-x)$, sont les distances des centres de percussion à l'axe neutre, et $m(\frac{1}{2}d+x)$, $m(\frac{1}{2}d-x)$ les distances des centres de gravité, on aura

$$\frac{\text{W.BG}\cos\text{C}}{\text{BD}}\times\frac{mfb(\frac{1}{2}d-x)^2}{(\frac{1}{2}d+x)}=\frac{\text{W.}(\text{BG}-\text{BD})\cos\text{C}}{\text{BD}}\times\frac{mfb(\frac{1}{2}d-x)^2}{(\frac{1}{2}d+x)},\text{ ou}$$

$$\text{BG}\times(\tfrac{1}{2}d-x)^2=(\text{BG}-\text{BD})+(\tfrac{1}{2}d+x)^2.$$

Et après qu'on a fait les substitutions convenables, cette équation se réduit à

$$x^2(2-3n)+2yx-\tfrac{1}{4}nd^2=0.$$

234. Dans une section rectangulaire $n=\frac{2}{3}$, et par conséquent on trouve, par l'équation précédente,

$$x=\frac{d^2}{12y}.\ (1)$$

(1) Il est prouvé que

$$y=a+\frac{l\sin\text{C}}{2\cos\text{C}}=a+\tfrac{1}{2}l\ \text{tang C}.$$

Donc la distance de l'axe neutre à l'axe de la colonne est

$$x=\frac{d^2}{12(a+\frac{1}{2}l\ \text{tang C.})}$$

Et, puisque dans ce cas, $m = \frac{1}{2}$, il y a équilibre entre la force qui comprime et la résistance à la compression quand

$$\frac{W.BG \times \cos C}{BD} = \frac{fb}{2}\left(\tfrac{1}{2}d + x\right);$$

Si l'on substitue pour BD, BG et x, leurs propres valeurs, cette équation devient,

$$W = \frac{fbd^2}{(d+6y)\cos C} \cdots\cdots\cdots (e).$$

Mais si l'on désigne BF par a; et si $\frac{l}{2} = AF$, ce qui donnera pour FG

$$\frac{AF \times \sin C}{\cos C} = \frac{l \sin C}{2 \cos C}; \text{ on aura}$$

par conséquent $y = a + \frac{L \sin C}{2 \cos C}$;

donc $$\frac{fbd^2}{(d+6y)\cos C} = \frac{fbd^2}{d \cos C + 6a \cos C + 3l \sin C} = W.(f)$$

---

et les axes se confondent quand l'angle est de 90°, c'est-à-dire, quand la direction de la force est perpendiculaire à l'axe de la colonne, mais jamais autrement.

Car, lorsque C = 90°, la tangente C est infinie, et par conséquent la fraction qui représente x est infiniment petite, ou bien les axes coïncident.

Cette équation va nous mettre en état de découvrir les conditions particulières de ce problème important.

Premièrement, si les points E et A sont dans une ligne perpendiculaire à BG, alors $a = 0$, et l'équation devient

$$\frac{fbd^2}{d.\cos C + 3l \sin C} = W \ldots\ldots\ldots (g).$$

Secondement, si la force agit dans une direction parallèle à BG, alors $C = 90$, et $\sin C = 1$, et $\cos C = 0$; l'équation f devient

$$\frac{fbd^2}{3l} = W \ldots\ldots\ldots\ldots (h).$$

Nous avons dans ce cas la même équation que dans l'article 79, car ici l est double de la longueur qu'il a dans l'autre équation.

Troisièmement, si la force agit dans une direction perpendiculaire à BG, alors $\cos C = 1$, et $\sin C = 0$, l'équation f devient en conséquence

$$\frac{fbd^2}{d + 6a} = W \ldots\ldots\ldots (i).$$

Quatrièmement, quand $a = 0$, ou que la direction de la force se confond avec l'axe E, alors

$$fbd = W \ldots\ldots (k).$$

Cinquièmement enfin, si $a =$ la moitié de l'épaisseur de la colonne, alors

$$\frac{fbd}{4} = \mathrm{W} \ldots\ldots\ldots (l).$$

Les équations h, i, k, l, s'appliquent aux colonnes courtes ou aux blocs dont la longueur n'est pas de plus de dix ou douze fois la moindre dimension de la section ; et elles ont servi à établir les règles de pratique suivantes ;

Trouver l'aire d'un bloc ou d'une colonne courte rectangulaire capable de résister à une pression donnée.

235. RÈGLE. Quand la force doit être appliquée exactement dans l'axe ou centre de la section du bloc, divisez le poids en livres ou la pression, par 15000; le quotient sera égal, en pouces, à l'aire de la section. Mais comme pour donner cette direction à la force, il faut un degré de précision auquel il est tout-à-fait impossible d'atteindre dans la pratique; et, que quand une force presse un bloc dont aa' *fig.* 31, est l'axe, il est toujours probable que la direction AA' de la force se portera seulement sur l'un des bords du bas de la colonne, et qu'elle

se trouvera éloignée de l'axe de la moitié de la plus petite épaisseur, ce qui réduira à un quart la résistance du bloc; on devra toujours donner à l'aire quatre fois autant d'étendue que celle qui sera déterminée par la règle.

Quand la distance de la direction de la force à l'axe sera déterminée par la nature de la construction, on se servira de la règle générale suivante :

236. A la largeur ou, plus exactement, à la plus petite dimension en pouces, ajoutez six fois la distance entre la direction de la force et l'axe, mesurée en pouces; et multipliez la somme par le poids qui équivaut en livres à la pression ; divisez le produit par 15300 fois le carré de la plus petite dimension en pouces, et le quotient donnera en pouces la largeur du bloc.

Cette règle est la traduction littérale de l'équation *i*, art. 234, et elle convient à la résistance à la tension comme à celle à la compression.

237. L'auteur de l'article PONT, du supplément à l'Encyclopédie méthodique de Napier, a prouvé que quand la force agit dans la direction de la diagonale d'un bloc, comme on le voit fig. 32, la pression est le double de celle qui a lieu quand la même force agit dans la direction

de l'axe. (1). Or, le lecteur ne peut pas douter qu'à raison des tassemens ou d'autres causes, une colonne ne soit toujours exposée à être pressée de cette manière, et il sentira la nécessité d'éviter de donner trop de largeur aux bouts des colonnes sous le prétexte d'augmenter leur stabilité; car cet élargissement ne ferait que rendre l'effet de la pression plus considérable, s'il arrivait quelque dérangement accidentel dans leur assiette, comme dans la fig. 33. J'ai recommandé, dans mon Traité de la charpente (2), de soutenir le bas des pièces soumises à une force de pression, par des appuis circulaires qui tendent à diminuer l'effet de tout changement partiel dans la position de ces pièces, idée que Serlio paraît avoir eue avant moi (3).

238. Une équation générale pour exprimer la pression et la résistance, quand la colonne est cylindrique, est compliquée; mais il est un cas particulier où le résultat est extrêmement simple; c'est lorsque l'axe neutre est une des surfaces de la colonne. Si d est le diamètre de la colonne, alors $0{,}7854\ d^2 =$ l'aire, et $\frac{1}{2}\,d =$ la distance du centre

---

(1) Napier's supp. to encyc. brit. art. bridge, p. 499.
(2) Tredgold's elementary principles of carpentry, p. 142.
(3) Architecture de Serlio, liv. 1, p. 13. Paris, 1545.

de gravité, et par conséquent

$$\frac{W.BG.\cos C}{BD} = \frac{0,7854\, d^2 f}{2}.$$

Mais quand l'axe neutre se trouve à la surface du cylindre

$$BG = BD, \text{ ou } W = \frac{0,7854\, d^2 f}{2 \cos C}.$$

Dans ce cas la distance entre la direction de la force et l'axe de la colonne, est de $\frac{1}{8}$ du diamètre, le centre de percussion étant éloigné de $\frac{5}{8}$ de l'axe neutre.

239. Il suit de là que quand la distance entre la direction de la force et l'axe, est de $\frac{1}{8}\, d$, la force d'un cylindre est à celle du prisme carré circonscrit, comme sept fois l'aire du cylindre est à huit fois l'aire du prisme, à peu près comme 5,5 : 8, ou :: 1 : 1,46.

Quand les axes neutres se confondent avec les axes des pièces, ou qu'ils en sont très voisins, le rapport entre la force du cylindre et celle du prisme devient

$$\frac{3 \times 0,7854}{4} : 1, \text{ ou } 1 : 1,7$$

ainsi que l'a démontré le docteur Young dans ses

leçons de Physique ; par conséquent, dans une colonne qui résiste à la fois à la compression et à la tension, le rapport varie entre 1 : 1,46, et 1 : 1,7, et le rapport moyen est à peu près celui de 1 à 1,6.

De la force des piliers et des colonnes qui ont beaucoup de longueur.

240. Si un support est comprimé dans la direction de sa longueur, et que l'inflexion soit assez considérable pour augmenter sensiblement la distance entre la direction de la force et l'axe, au milieu de la longueur du support, il est évident que l'effort sera également augmenté ; et comme dans la pratique la courbure ne peut être que fort petite, nous pouvons supposer qu'elle est un arc de cercle. Dans un cercle le carré de la longueur de la corde d'un petit arc est sensiblement égal au rayon multiplié par huit fois le sinus verse v, ou $\frac{l^2}{8v} = R$. La courbure sera la plus grande quand l'axe neutre se confondra avec l'axe ; et en prenant ce cas extrême pour exemple, nous aurons cette proportion : le changement en longueur du côté concave est à la longueur primitive, comme la moitié de l'épaisseur est au rayon, ou

$$e : 1 :: \frac{d}{2} : R = \frac{d}{2e}.$$

Donc

$$\frac{l^2}{8v} = \frac{d}{2e} \text{ et } v = \frac{l^2 e}{4d} = \text{la courbure au milieu.}$$

241. Nommons *a* la distance entre la direction de la force et l'axe, lorsque cette force a commencé à agir. Alors elle sera, à raison de la courbure, comme nous l'avons vu art. 234, égale à

$a + \frac{l^2 e}{4d}$, et par conséquent on aura, par l'équation (*i*),

$$\frac{fbd^2}{d + 6a + \frac{6l^2 e}{4d}} = W \ldots\ldots (m).$$

Pour la fonte $f = 15300$ livres, et $e = \frac{1}{1204}$ (art. 106 et 174.), et si $l =$ la longueur en pieds, et que *a*, *b* et *d*, soient des pouces, on aura cette formule de pratique pour la force d'un prisme rectangulaire :

$$\frac{15300bd^2}{d + 6a + \frac{0{,}18l^2}{4d}} = \frac{15300bd^3}{d^2 + bda + 0{,}18l^2} = W \text{ (1)}. \ (n).$$

---

(1) Pour le chêne, $\frac{3960\ b\ d^3}{d^2 + bda + 0{,}5\ l^2} = W$

242. Si $a = 0$, alors la direction de la force coïncide avec l'arc, et la règle devient,

$$\frac{15300bd^3}{d^2 + 0{,}18l^2} = W \dots (o).$$

Mais il serait imprudent, dans la pratique, de calculer sur cette exacte coincidence de la direction de la force et de l'axe que suppose l'équation précédente; il arrive bien rarement, au contraire, que l'on ne soit pas plus près de la vérité, en supposant cette direction comme s'éloignant de l'axe d'une moitié de l'épaisseur, et dans ce cas $a = \frac{1}{2} d$, ainsi

$$\frac{15300bd^3}{4d^2 + 0{,}18l^2} = W \text{ (2)} \dots\dots (p).$$

243. On peut, par approximation, calculer la résistance d'un cylindre à la compression dans le

---

Pour le fer forgé, $\frac{17800\, b\, d^3}{d^2 + b\, d\, a + 0{,}16\, l^2} = W.$

(2) Pour le fer forgé, $\frac{17800\, b\, d^3}{4\, d^2 + 0{,}16\, l^2} = W.$

Pour le chêne, $\frac{3960\, b\, d^3}{4\, d^2 + 0{,}5\, l^2} = W.$

sens de sa longueur, au moyen de la règle que voici :

$$\frac{15300d^4}{1,6(d^2+0,18l^2)} = \frac{9562d^4}{d^2+0,18l^2} = W \ldots\ldots (q).$$

244. Et quand la direction de la force s'écarte de l'axe d'une quantité de pouces $= a$, cette règle devient

$$\frac{9562d^4}{d^3+6da+0,18l^2} = W \ldots\ldots (r).$$

Si la force agit dans la direction de l'une des surfaces de la colonne, alors $a = \frac{1}{2}d$ et

$$\frac{9562d^4}{4d^2+0,18l^2} = W \text{ (1)} \ldots\ldots (s).$$

C'est cette dernière équation qui a servi à calculer la Table III, où l'on donne la force des colonnes pour résister aux pressions.

Dans toutes les règles depuis l'équation n jusqu'à l'équation s, l marque la longueur, AA', *fig.* 31, en pieds; $d =$ soit le diamètre, soit le

---

(1) Pour le fer forgé, $\frac{11125\ d^4}{4d^2+0,16l^2} = W.$

Pour le chêne, $\frac{2470d^4}{4d^2+0,5l^2} = W.$

plus petit côté en pouces; $b =$ le plus grand côté, aussi en pouces, et W est, en livres, le poids à porter.

245. *Exemple* I. On demande quel poids supporterait, sans danger, une colonne cylindrique de 11 pieds de long et de 5 pouces de diamètre, dans la supposition qu'il est probable que la force agirait dans la direction AA', *fig.* 31, à la distance d'un demi diamètre de l'axe.

L'équation *s* est celle dont il faut se servir dans cet exemple. Elle donne

$$\frac{9562d^4}{4d^2+0,18l^2}=\frac{9562\times5^4}{4\times5^2+0,18\times11^2}=W=49080 \text{ liv.},$$

ou un peu plus de 22 tonneaux.

On calculerait de cette manière la force des piliers destinés à porter des étages de maisons. Quand il est question de maisons d'habitation, il faut calculer toute l'augmentation de poids qui peut résulter de la quantité de personnes qui s'y réunissent; et quand ce sont des magasins, il est nécessaire de tenir compte du poids le plus grand en marchandises qu'on pourrait y placer.

246. *Exemple* II. On demande de déterminer la compression qu'une pièce courbe pourra soutenir dans la direction de sa corde; la plus grande distance entre l'axe de la courbe et la

direction de la corde, étant supposée de 6 pouces, les dimensions de la pièce étant de 3 pouces carrés, et la longueur de la corde égale à 5 pieds.

L'équation *n*, art. 241, donne

$$W = \frac{15300bd^3}{d^2+6da+0,18l^2} = \frac{15300\times 3^4}{3^2+6\times 3\times 6+0,18\times 5^2}$$

$$= 30600 \text{ livres.}$$

C'est le poids équivalent à la compression cherchée.

Exemple III. Un autre cas intéressant auquel ces équations peuvent s'appliquer est celui de la tige du piston d'une machine à vapeur à double effet. Mes lecteurs me pardonneront si j'ai recours aux signes algébriques pour rendre la règle générale.

Soit D le diamètre du cylindre à vapeur en pouces, et p la plus forte pression, exprimée en livres, de la vapeur sur un pouce circulaire du piston. Alors $W = D^2p$.

Mais on a fait voir dans une note à l'art. 244, que, pour le fer forgé,

$$W = \frac{11125d^4}{4d^2+0,16l^2};$$

alors, $$D^2p = \frac{11125d^4}{4d^2+0,16l^2};$$

ou $$D = 53d^2 \sqrt{\frac{1}{p(d^2 + 0{,}04l^2)}}.$$

Mais il n'est aucune circonstance où la longueur en pieds puisse être triple du nombre de pouces qu'a le diamètre ; substituons cette valeur de l, et nous aurons

$$\frac{D\sqrt{1{,}5p}}{53} = d.$$

Si la pression est de 8 livres sur un pouce circulaire, ce qui donne un peu plus de 10 livres sur un pouce carré, on a $\frac{D}{15} = d$. C'est-à-dire que la tige du piston ne doit jamais avoir moins de la quinzième partie du diamètre du cylindre dans une machine à double effet. Dans la pratique on lui donne ordinairement la dixième partie du diamètre, ce qui ne paraît pas trop quand on considère qu'elle s'use avec le temps.

De la force des barres et des tringles pour résister à la tension.

247. Quand on examine l'effet de la courbure sur les barres pour résister à la tension, on trouve une fort grande différence ; car bien loin que la

force soit diminuée par la flexibilité, celle-ci, ou n'a aucun effet, ou bien en a un directement opposé : de sorte que, dans tous les ouvrages exécutés en métaux, la force de tension des matériaux devrait être employée de préférence à toute autre, à moins que le volume ne fût considérable par rapport à la longueur. Dans le bois cette force ne peut pas être avantageusement employée, parce qu'il est difficile d'en lier les extrémités avec assez de fermeté, mais une semblable difficulté n'existe pas pour les métaux.

Quand une barre ou une tringle est courte, on peut calculer sa résistance par les articles 235 et 236.

Mais quand elle est longue, et que la barre est courbée ou que la force n'est pas dans la direction de l'axe, alors l'effet de la courbure doit être pris en considération.

L'équation i, art. 234, peut s'appliquer à tous les cas dans lesquels la direction de la force est parallèle aux extrémités de la barre, c'est-à-dire

$$\frac{fbd^2}{d+6a} = \text{W} \ldots\ldots (t).$$

L'inflexion est alors $= \frac{l^2e}{4d} = \frac{0{,}03l^2}{d}$, quand l désigne la longueur en pieds, et que $e = \frac{1}{1204}$.

Mais cette inflexion doit être déduite de la distance à l'axe.

D'après cela

$$\frac{15300bd^3}{d^2+6ad-0,18l^2} = W \text{ (1)} \ldots\ldots (u).$$

Quand la direction de la force est écartée de l'axe de la moitié du plus petit côté, alors $a = \frac{1}{2} d$, et

$$\frac{15300bd^3}{4d^2 - 0,18l^2} = W \ldots\ldots (v).$$

Et quand la direction de la force coïncide avec l'axe

$$15300bd = W \ldots\ldots (x).$$

Quand un barreau est cylindrique, sa force est à celle d'une barre carrée comme 1 : 1,46 à peu près (art. 239). Donc

$$\frac{9562d^4}{d^2+6ad-0,18l^2} = W \ldots\ldots (y).$$

---

1) Pour le fer forgé, $\frac{17800\ 6d^3}{d^2+6ad-0,16\ l^2} = W.$

Et pour le chêne, $\frac{3960\ 6d^3}{d^2+6ad-0,5\ l^2} = W.$

Ou quand la force agit sur une des surfaces de la tringle,

$$\frac{9562d^4}{4d^2-0,18l^2}=\text{W}\ldots\ldots(z).$$

Il était utile de faire voir en quoi consiste l'avantage d'une force de tension, mais je ne crois pas devoir adopter ces équations pour servir de règles dans la pratique, parce qu'elles ne sont ni si simples ni d'une application aussi facile que les règles déjà données art. 235 et 236, qui ne pècheront jamais que d'une très petite quantité et par excès, quand on aura la précaution de prendre le plus grand écart possible entre la force qui doit agir et l'axe de la pièce qui y résistera.

Exemple I. On demande quel poids peut être suspendu à une barre de fonte de 4 pouces sur 8, dans la supposition que la direction de la force sera sur une des surfaces larges de la barre.

L'équation *t* de cet article convient à ce cas. On a alors, $a=2$ pouces, ou la moitié de la plus petite dimension de la barre, ce qui est la distance à laquelle la direction de la force est supposée se trouver de l'axe, et par conséquent

$$\frac{fbd^2}{d + 6a} = \frac{15300 \times 8 \times 4^2}{4 + 12} = 122400 \text{ livres.}$$

C'est le poids demandé. Voyez la règle détaillée, art. 236.

Si l'on veut observer que la moindre inexactitude dans la manière dont les pièces sont liées peut faire porter l'effort entier sur un des côtés de la barre, on reconnaîtra combien il est prudent de suivre ce mode de calcul.

Exemple II. On demande de déterminer l'aire qu'il conviendrait de donner aux barres de fonte d'un pont suspendu, pour une ouverture de 370 pieds; les points de suspension étant placés à 30 pieds au-dessus du point le plus bas de la courbe; la charge la plus considérable, y compris le poids du pont même, devant être de 500 tonneaux (509000 kilogrammes).

La charge étant distribuée à peu près uniformément, la courbe que prendront les chaînes ne différera pas sensiblement d'une parabole (1); et la moitié du poids sera à la tension, au point le plus bas de la courbe, dans le même rapport que celui

(1) Voyez Elementary principles of Carpentry, art. 57.

de l'élévation au quart de l'ouverture, c'est-à-dire qu'on aura

$$30 : \frac{370}{4} :: \frac{500}{2} : \frac{500 \times 370}{8 \times 30} = 771 \text{ tonneaux.}$$

771 tonneaux sont la même chose que 1727040 livres avoir du poids, et par la règle de l'article 235, on a

$$\frac{1727040}{15000} = 115 \text{ pouces carrés}$$

pour l'aire des barres, en supposant que l'effort de la charge s'exerce dans la direction précise de l'une et l'autre barre ; et si l'on double cette surface, on sera en garde contre une déviation qui serait égale à la sixième partie du diamètre. Cet excès de force serait suffisant, attendu qu'il est peu probable que ce pont fût jamais entièrement couvert d'hommes, et que j'ai établi le calcul dans la supposition qu'il pourrait l'être. La somme des aires des chaînes au point le plus bas devrait donc être de 230 pouces carrés. L'aire, à tout autre point de la courbe, devrait être à l'aire au point le plus bas, comme la sécante de l'angle qu'une tangente à la courbe ferait avec une ligne horizontale, serait au rayon. Dans ce cas-ci, la somme des aires au point de suspension devrait être de 242 pouces

carrés. Des chaînes en fonte seraient bien supérieures pour un pont à des chaînes de fer forgé; elles dureraient plus et coûteraient moins pour obtenir le même résultat; et leur poids, en leur donnant la force nécessaire, préviendrait de trop fortes vibrations causées par des forces peu considérables. La plupart des ponts en fer paraissent très faibles, et devoir peu durer, quand on les examine d'après les règles que j'ai établies, et qui me paraissent fondées sur des principes incontestables.

Exemple III. Déterminer l'aire d'une tige de piston pour une pompe à simple effet, la force qui doit s'exercer sur le piston étant équivalente à 11 livres sur un pouce carré, et en calculant sur la possibilité d'une déviation dans la direction de la force qui serait égale à la distance entre le demi-diamètre de la tige et l'axe. Dans ce cas, la force est égale à onze fois le carré du diamètre du piston, en pouces. Et si l'on nomme D le diamètre du piston d'une machine à vapeur, et d celui de la tige du piston, on a pour le fer forgé

$$3{,}1416 \times 11\ D^2 = \frac{3{,}1416 d^2 \times 17800}{4},$$

ou, à très peu près,

$$\frac{D}{20} = d.$$

C'est-à-dire que le diamètre de la tige du piston devrait être d'un vingtième du diamètre du cylindre à vapeur, si l'on n'avait pas égard à ce qu'il perd par l'usage; mais si l'on y a égard, ainsi qu'on doit le faire, il faut que le diamètre demandé soit de la quinzième partie du diamètre du cylindre à vapeur.

SECTION XI.

De la force de la fonte pour résister à une force d'impulsion (1).

248. La force qui meut un corps ou une partie d'une machine, doit être balancée par la force élastique des parties qui propagent le mouvement ; car si l'effet de la force mouvante est plus grand que l'élasticité des parties, il y en aura parmi celles-ci qui finiront par se briser ; et de plus une partie de la puissance de la machine sera perdue à chaque coup. Et comme on augmente les frottemens quand on augmente la masse de la matière, il y a de l'avantage à n'employer dans les mouvemens des machines que la quantité de matière absolument nécessaire pour leur donner de la force ; mais dans d'autres parties qui ne sont

(1) Le docteur Young a donné le nom de *résilience* à cette espèce de résistance. Le lecteur trouvera des observations intéressantes sur l'importance que présente l'étude de ce sujet particulier, dans les leçons de Physique de cet auteur, vol. 1, p, 143.

exposées qu'à des pressions, il est toujours bon que les matériaux soient en état de résister à leur force en ne s'infléchissant qu'autant que cela peut être convenable ; car la stabilité des parties fixes des machines est une de leurs qualités les plus essentielles.

Une barre résiste à une force mouvante, comme le fait un ressort, en cédant, et en résistant à la force en même temps qu'elle y cède, jusqu'à ce qu'elle finisse par la contrebalancer (1) ; un corps fragile, et un corps d'une grande roideur se rompent parce qu'ils ne cèdent pas assez à la force pour la détruire.

Comme on peut calculer la résistance d'une pièce sous différens degrés de courbure, l'effet de cette résistance, sur la destruction du mouvement, peut être évalué par les principes de la Dynamique. Ces sortes de recherches se font ordinairement en employant la méthode des fluxions (le calcul différentiel) ; mais, ne trouvant pas que la manière dont on en établit les principes soit satisfaisante, quoique je n'aie aucun doute sur l'exactitude de ses résultats, je déduirai le plus

---

(1) Pour qu'une machine produise le plus grand effet, il faut que le temps pendant lequel les pièces prennent de l'inflexion soit le plus court possible.

brièvement possible les règles de cette section d'une autre méthode de calcul.

249. Si l'intensité d'une force est variable, de sorte que son action sur le corps qu'elle met en mouvement, soit en raison directe d'une force n, de la distance d'un point B, *fig.* 23, vers lequel ce corps se meut; et si l'intensité de la force en A est égale à P, alors l'intensité en un point quelconque C, sera $\frac{(CB)^n P}{(AB)^n}$; car, par la supposition, on a

$$(AB)^n : (CB)^n :: P : \frac{(CB)^n P}{(AB)^n};$$

nommons S l'espace AB, et concevons cet espace divisé en m parties égales, dont chacune sera $= x$. A raison de la petitesse de ces parties, si nous prenons le terme moyen entre l'intensité au commencement et à l'extrémité de chaque partie, et si nous regardons chacun des termes moyens comme une intensité uniforme pour l'espace pour lequel il a été calculé; alors toutes ces intensités uniformes peuvent être représentées par la progression suivante:

$$\frac{P}{2\,S^n} + \overline{0 + x^n} \times \left(x^n + 2^n x^n\right)$$

$$+ \left(\overline{2^n x^n + 3^n x^n}\right) + \ldots \left(\overline{m - 1^n x^n + m^n x^n}\right),$$

ou

$$\frac{P x^n}{S^n} \left\{ 1^n + 2^n + 3^n + \ldots \overline{m-1}^n + \frac{m^n}{2} \right\}.$$

250. Les auteurs qui ont traité de la Dynamique, ont fait voir que quand l'intensité d'une force est uniforme, le carré de la quantité de force accumulée ou détruite, est en raison directe de l'intensité multipliée par la quantité de matière mise en mouvement et par l'espace dans lequel elle se meut (1). Faisons donc W = la quantité de matière, et nommons g une quantité constante pour réduire la proportion en équation ; nous trouverons que le carré des forces accumulées ou détruites dans l'espace S, peut être développé dans la progression suivante :

$$\frac{gPW x^{n+1}}{S^n} \left\{ 1^n + 2^n + \ldots m - 1^n + \frac{m^n}{2} \right\},$$

Et d'après les principes de la méthode des progressions (2), la valeur exacte du carré de la force accumulée ou détruite dans l'espace S est

$$\frac{gPWS}{n+1}.$$

---

(1) Dr. Hutton's course of Mathem., vol. II, p.136, 5 ed.

(2) Philosophical Magazine, vol. LVII, p. 201.

251. Quand $n=0$, ou que l'intensité de la force est uniforme, le carré de la force accumulée $= g$PWS.

252. La force de la pesanteur près de la surface de la terre est presque uniforme, et, dans ce cas, les expériences sur la chute des graves nous ont appris que $g=64\frac{1}{3}$, et que P $=$ W le poids du corps. Par conséquent $64\frac{1}{3}$ $W^2S=$ le carré de la force accumulée, et $64\frac{1}{3}$ peut être substitué à g.

De sorte que la force avec laquelle un corps tombe est représentée par

$$W\sqrt{64\tfrac{1}{3}S}.$$

253. Si $n=1$, on a

$$g\frac{PWS}{n+1}=\frac{64\frac{1}{3}PWS}{2}=32\tfrac{1}{6}PWS.$$

Et comme, dans la résistance des barres, l'intensité pour une courbure quelconque est en raison directe de cette courbure, la quantité $32\frac{1}{6}$ PWS représente le carré de la force détruite en produisant une inflexion égale à S. Dans cette expression P désigne le poids qui produirait l'inflexion S (1).

(1) L'effet des gaz élastiques pour produire ou pour détruire le mouvement, est exprimé par la même équa-

Après avoir examiné l'effet de la force de résistance d'un corps pour détruire une force d'impulsion, il nous reste à considérer les circonstances qui ont lieu dans les différens cas qu'on rencontre dans la pratique.

254. Si le coup est porté par un corps tombant dans la direction de la pesanteur, que le poids de ce corps soit représenté par w, et sa vitesse, au moment où il frappe, par v, alors par les lois du choc des corps, dans le cas d'équilibre

$$v w = \sqrt{32 \tfrac{1}{6} \mathrm{PS} (\mathrm{W} + w)} \ldots\ldots\ldots (a)$$

On a négligé dans cette équation la petite accélération qui serait produite par l'action de la pesanteur sur la masse $w + \mathrm{W}$, pendant le temps que la pièce met à s'infléchir.

255. Si le coup était donné horizontalement

---

tion, quand le changement de volume n'est pas assez rapide dans un cas pour produire du froid, et dans l'autre pour développer de la chaleur. Le développement de la chaleur par la compression subite de l'air, affecte matériellement la vitesse du son. La Place s'en est le premier servi pour expliquer la différence entre la théorie et la pratique; ce sujet a été depuis éclairci par les recherches de Poisson, sur la vitesse du son, qui ont été insérées dans les *Annales de chimie*, tome XXIII, p. 5.

par un corps du poids w porté avec une vitesse v, alors l'équation serait exacte, et même elle l'est assez dans le premier cas pour servir dans la pratique.

256. Si le coup était donné par un poids w, tombant d'une hauteur donnée h, on aurait par les lois de la pesanteur (art. 252)

$$vw = w\sqrt{64\tfrac{1}{3}h},$$

$$\text{donc } w\sqrt{64\tfrac{1}{3}h} = \sqrt{32\tfrac{1}{6}\text{PS}(\text{W}+w)}, \text{ ou}$$

$$2w^2h = \text{PS}(\text{W}+w) \ldots\ldots\ldots\ldots (b)$$

257. Quand la pression est occasionnée par une force d'une intensité F, et d'une vitesse v, comme par exemple, par le dérangement subit d'une machine en mouvement avec la vitesse v et la force F, alors

$$\text{F}v = \sqrt{32\tfrac{1}{6}\text{PS W}}, \text{ ou}$$

$$\text{F}^2v^2 = 32\tfrac{1}{6}\text{PSW} \ldots\ldots\ldots\ldots (c)$$

La dernière équation est applicable aux balanciers des machines à vapeur et, en général, à tous les mouvemens alternatifs.

Si le corps sur lequel se dirige l'impulsion était déjà en mouvement dans la direction de cette

impulsion, alors la force Fv serait la différence entre les deux forces.

257ᵉ. Un terme général de comparaison pour indiquer la force de résistance qu'un corps oppose à l'impulsion, et qu'on pourrait appeler le *module de résilience*, serait extrêmement commode dans des calculs de cette espèce; et si l'on omet l'effet de la différence de densité (ce qui se fait ordinairement) on aura un moyen facile de former un pareil nombre (1). Car, dans tous les cas où f sera la force qui produirait une altération permanente, et e l'alongement correspondant, on aura

$$PS = fe;$$

et puisque dans des barres de matières différentes

(1) Ce nombre, ou ce terme, devrait comprendre l'effet de la densité, si l'on devait mesurer la résistance à l'impulsion par l'élévation dont il faudrait qu'un corps tombât pour produire, par son propre poids, une altération permanente, car on peut aisément déduire de l'éq. 11, art 256, $h = \frac{fe}{s}$, en prenant s pour la pesanteur spécifique. Cette expression pourrait s'indiquer par le terme de *résilience spécifique* d'un corps; et si on la notait par le signe Σ, on aurait $\frac{fe}{s} = \Sigma$. Pour la fonte $\Sigma = 1,762$.

placées dans des circonstances semblables la résistance à l'impulsion peut être regardée comme étant proportionnelle à la hauteur de laquelle un corps doit tomber pour produire une altération permanente dans la structure de la matière; et, puisque cette élévation est proportionnelle à PS, et par conséquent à fe, quand on néglige l'effet de la densité; on peut prendre fe pour la mesure de la résistance d'un corps à la force d'impulsion, c'est-à-dire pour le *module de résilience*, et en représentant ce module par R, on a

$$fe = \mathrm{R} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (d)$$

Dans la fonte

$$f = 15300, \text{ et } e = \frac{1}{1204}.$$

Donc $\mathrm{R} = 12,7$.

258. Ces équations découlent de ce principe, que tant que l'élasticité est parfaite, l'inflexion ou l'alongement est comme la force qui le produit; mais elle varie aussi suivant que le corps est pressé. Des exemples pris dans des cas qui se présentent souvent, en feront voir l'application.

Mais il est utile, avant d'aller plus loin, de rechercher quelle est la vitesse que peut soutenir

la fonte, sans altération permanente, afin d'être bien en garde contre les accidens dans le cas où les différentes parties des machines acquerraient cette vitesse; car, si quelque partie d'une machine se trouve liée à d'autres qui puissent céder à la force, et que la matière qui la compose soit capable de transmettre le mouvement avec une plus grande vitesse que celle avec laquelle la machine agit, on n'a pas besoin, en la faisant, d'avoir attention à autre chose qu'à la mettre en état de résister à la force ou à la pression.

259. On a vu que $\sqrt{32\frac{1}{6}PWS}$ est égal à la plus grande force qu'un corps élastique puisse produire ou détruire (art. 253), et que s'il était exposé à l'action d'une force plus considérable, il éprouverait une altération permanente. Maintenant, si l'on nomme V la plus grande vitesse qu'un corps soit capable de transmettre, après qu'elle été communiquée à sa masse, on aura

$$\sqrt{32\tfrac{1}{6}PWS} = VW, \text{ ou}$$

$$\sqrt{\frac{32\frac{1}{6}PS}{W}} = V \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (e)$$

260. On sait de plus que, dans la fonte, la force de cohésion $f = 15300$ livres (art. 106) et que l'alongement

$$e = \frac{1}{1204} \text{ (art. 174).}$$

Et, puisque $S = le$ (art. 74), et $P = bdf$ (art. 73); enfin que $lbdp = W =$ le poids d'une barre de fonte d'un pied de long et d'un pouce d'équarrissage, p étant égal à 3,2 liv.; il suit de là que, quand une barre est pressée dans le sens de sa longueur,

$$\sqrt{\frac{32\frac{1}{6}PS}{W}} = \sqrt{\frac{32\frac{1}{6} \times bdf \times le}{lbdp}} = \sqrt{\frac{32\frac{1}{6} \times 15300}{3,2 \times 1204}} = V =$$

11,3 pieds par seconde.

261. Quand une barre uniforme est appuyée aux extrémités, on a

$$P = \frac{850\, bd^2}{l} \text{ (art. 106); et } S = \frac{0{,}02 l^2}{12\, d} \text{ pieds (art. 174);}$$

on a aussi

$$W = \frac{lbdp}{2}.$$

Car la masse de la barre aurait le même effet que si la moitié du poids était réunie au milieu, donc

$$\sqrt{\frac{32\frac{1}{6}PS}{W}} = \sqrt{\frac{32\frac{1}{6} \times 850 \times 0{,}02 \times 2}{12 \times 3{,}2}} = V =$$

5,3366 pieds, par seconde, à peu près.

J'ai fait voir par la comparaison de beaucoup d'expériences (art. 59), qu'environ 3,3 fois la force qui produit une altération permanente, suffirait pour faire rompre une barre; par conséquent, en supposant que la courbure continue à être proportionnelle à la force, jusqu'à ce que la fracture ait lieu, on a

$$\sqrt{\frac{32\frac{1}{6} \times 3,3\,P \times 3,3\,S}{W}} = V, \text{ ou}$$

$$3,3\sqrt{\frac{32\frac{1}{6}\,PS}{W}} = V.$$

Donc une vitesse de $3,3 \times 5,3366 = 17,6$ pieds par seconde, romprait une barre de fonte; ou bien, cette barre se romprait en tombant d'environ cinq pieds de hauteur.

262. Il est donc clair que la fonte ne peut résister qu'à un degré de vitesse très borné; et la connaissance précise de cette limite est très certainement de première importance dans l'emploi de cette matière pour la construction des machines. Quand une barre de fonte doit recevoir une force d'impulsion dans la direction de sa longueur, la plus grande vitesse qu'on puisse faire prendre à sa masse ne doit jamais être de plus de onze pieds par seconde; et, quand la force agit dans une di-

rection perpendiculaire à la longueur, elle ne doit jamais être assez considérable pour pouvoir communiquer à la masse de la barre une vitesse plus grande que cinq pieds environ par seconde; si cette vitesse passait 18 pieds, la barre romperait.

Si la tige du piston d'une machine à vapeur avait une vitesse de plus de 5 pieds par seconde, le refoulement de son propre poids y produirait une altération permanente.

Si un vaisseau dont la mâture serait en cylindres creux de fonte, venait à donner contre un rocher avec une vitesse de plus de 12 nœuds à l'heure, ses mâts se briseraient; et même cela arriverait quand sa vitesse ne serait pas aussi grande; car nous ne tenons pas compte ici de l'effet du vent sur les mâts.

263. Afin de donner toute la clarté nécessaire à nos recherches, ou plutôt afin d'empêcher ceux qui feront usage de nos règles sur la résistance à l'impulsion, de commettre des erreurs, il nous paraît utile d'examiner comment elles doivent être appliquées aux parties des machines. Dans les machines, le mouvement est transmis, depuis le point qui reçoit l'impulsion jusqu'à celui où se fait le travail, par un certain nombre de parties, et parmi ces parties il faut qu'il y en ait au moins une capable de résister à toute la force du moteur, et

elles doivent être toutes distribuées de manière à diviser la ligne de communication en parties presques égales. Si les parties intermédiaires sont assez fortes pour résister à la force d'inertie de la machine, c'est-à-dire à son poids indépendant de tout mouvement, elles le seront assez pour transmettre la vitesse, en la supposant moindre que celle dont on a parlé dans l'article précédent, à d'autres parties qui la feront passer à leur tour au point où le travail se fait, ou qui seront en état d'y résister pendant un dérangement momentané de l'action de la machine; mais si l'on donnait cette même force à toutes les parties, il en résulterait souvent une machine lourde et grossière, et qui serait incapable de servir.

264. Nommons f et k deux nombres constans qui représentent la force et la courbure en pieds, nous aurons

$$P = \frac{fbd^2}{l}, \text{ et } S = \frac{kl^2}{d}.$$

Supposons aussi que le poids de la barre elle-même soit égal à n fois le poids du corps tombant.

Si nous substituons ces valeurs dans l'équation a, art. 254, nous aurons

$$vw = \sqrt{32\tfrac{1}{6}\text{PSW} + w} = \sqrt{32\tfrac{1}{6}\,lbdfkw\ (n+1)},$$

ou

$$\frac{v^2 w}{32\frac{1}{6} lfk\,(n+1)} = bd \ldots\ldots\ldots (f)$$

265. En faisant les mêmes substitutions dans l'équation *c* (art. 257), nous aurons

$$F^2 V^2 = (32 \tfrac{1}{6} PSW) = 32 \tfrac{1}{6} lbkfdw;$$

et si *lbdp* représente le poids de la masse de la barre sur laquelle la force agit, alors nous aurons

$$l \sqrt{\frac{FV}{32 \frac{1}{6} fkp}} = bd \ldots\ldots\ldots\ldots (g)$$

Règles de pratique et exemples.

266. Prop. I. Déterminer une règle pour trouver les dimensions d'une pièce en fonte qui doit résister à la force d'un corps en mouvement.

Il est évident (équat. *f*, art. 264), que l'erreur que l'on commettrait en négligeant dans le calcul l'effet du poids de la pièce même, ne tendrait qu'à assurer à la pièce des dimensions plus capables de résister à une force d'impulsion, et comme en ne tenant pas compte de cet effet la règle se réduit à une forme très simple, je me servirai de l'équation sous cette forme

$$\frac{V^2 w}{32 \frac{1}{6} lfk} = bd.$$

267. *Premier cas.* Quand la pièce est uniforme et appuyée aux deux extrémités, $f = 850$ (art. 106), et *k*, en pieds, $= \frac{0,02}{12}$ (art. 174).

Donc $$32 \tfrac{1}{6} fk = 45{,}5,$$

ou $$\frac{v^2 w}{45{,}5\, l} = bd.$$

268. *Règle.* Multipliez le poids du corps qui tombe par le carré de sa vitesse en pieds, par seconde ; divisez ce produit par 45,5 fois la longueur en pieds, et le quotient sera égal à l'aire de la pièce en pouces.

L'épaisseur doit être au moins suffisante pour rendre la pièce capable de soutenir son propre poids ajouté à celui du corps qui tombe ; on la trouvera facilement au moyen de la table 11, article 6.

269. Si la hauteur de la chute était donnée au lieu de la vitesse du corps qui tombe, alors, au lieu de multiplier par le carré de la vitesse, on multiplierait par 64 fois la hauteur.

270. *Exemple* 1. Déterminer l'aire d'une barre de fonte qui pourrait, sans danger, résister au choc d'un poids de 170 livres tombant sur son milieu avec une vitesse de 8 pieds par seconde, la distance entre les appuis étant de 27 pieds.

La règle donne

$$\frac{170 \times 8^2}{45{,}5 \times 26} = 9{,}2 \text{ pouces}$$

C'est l'aire demandée.

Ainsi, en faisant l'épaisseur de six pouces, la largeur sera de 1,53 pouces, et la pièce résistera à une pression de 1800 livres (*Voy.* table II), pour produire le même effet que la chute de 170 livres. On peut remarquer que la moitié du poids de cette barre serait de 400 livres, ce qui ferait 570 livres pour la pression qu'elle aurait à soutenir après que la vitesse aurait été détruite, ce qui n'est pas le tiers du poids que cette barre pourrait porter.

271. *Exemple* 2. Si un pont de 30 pieds d'ouverture était établi sur des pièces de fonte, quelle devrait être l'aire de la section de ces pièces, pour que chacune d'elle fût assez forte pour résister au choc de la roue d'un charriot tombant de dessus une pierre de 3 pouces de hauteur, la charge portant sur la roue du charriot étant de 3360 livres?

La hauteur de la chute étant de 0,25 pieds, le carré de la vitesse acquise par la chute serait $64 \times 0{,}25 = 16$. Donc,

$$\frac{3360 \times 16}{45{,}5 \times 30} = 39{,}338 \text{ pouces}$$

pour l'aire demandée.

C'est à peu près 40 pouces. Supposons que ce soit ce nombre; alors $40 \times 15 \times 3{,}2 = 1920$ liv.

= la moitié du poids de la pièce (c'est-à-dire, l'aire en pouces multipliée par la demi-longueur en pieds, multipliée par 3,2 = le poids d'une barre de fonte d'un pied de longueur et d'un pouce d'équarrissage). Conséquemment 1920 + 3360 = 5280, pression totale que la barre aura à soutenir quand la vitesse aura été détruite. Si l'on donnait à la barre 20 pouces d'épaisseur et 2 pouces de largeur, on trouvera, table 11, que la courbure serait de 0,9 de pouces, et qu'il faudrait une pression de 45328 livres pour produire le même effet que la chute de la roue, ou plus de huit fois la pression résultant de la charge et du poids de la barre.

227. *Deuxième cas*. Quand une pièce est soutenue aux deux bouts, que sa largeur est uniforme, et que le contour de son épaisseur est une ellipse.

Ce cas convient aux ponts ou aux pièces qui ont à résister à une force d'impulsion en un point quelconque de leur longueur. Par l'art 107, $f = 850$, et par l'art. 102,

$$k \text{ en pieds} = \frac{0,0257}{12};$$

par conséquent l'équation

$$\frac{v^2 w}{32\frac{1}{6} f k l} = bd \qquad \text{(art. 266.)}$$

devient

$$\frac{v^2 w}{58,5\, l} = bd.$$

Règle. Calculez par la règle de l'art. 268, en vous servant de 58,5 comme diviseur, au lieu de 45,5.

274. *Troisième cas.* Quand la largeur et l'épaisseur sont uniformes, et que la section est semblable à celle de la figure 9, la barre étant portée par des appuis à ses deux extrémités.

Dans ce cas $f = 850(1 - qp^3)$ (article 148), et

$$k = \frac{0,02}{12} \text{ pieds};$$

l'équation (art. 266) $\frac{v^2 w}{32\frac{1}{6} fkl} = \frac{v^2 w}{45,5\,(1 - qp^3)l} = bd.$

Par conséquent la force d'une barre pour résister à une impulsion quand la quantité de matière est la même et qu'on donne cette forme à la section, est considérablement augmentée.

275. *Quatrième cas.* Si une pièce de fonte dont la section est la même que celle de la fig. 9, a la forme elliptique d'égale résistance (Voy. *figure* 24), alors $\frac{v^2 w}{58,5\, l\,(1 - p^3 q)} = bd$, lorsque la pièce est portée sur des appuis, et que l'impulsion s'exerce sur un point quelconque de sa longueur.

276. *Cinquième cas.* Dans une pièce ouverte, comme celle de la figure 11, on peut supposer que

le contour est une ellipse, lorsque la largeur est uniforme, et dans ce cas

$$\frac{v^2 w}{58,5\, l\,(1-p^3)} = bd.$$

277. *Exemple.* On veut connaître l'aire de la section d'une ferme ou poutre à jour, capable de soutenir le choc de 300 livres tombant d'un pied de hauteur; sa longueur entre les appuis étant de 26 pieds, et l'épaisseur de la partie à jour faisant 0,7 de l'épaisseur totale.

Dans cet exemple

$$\frac{v^2 w}{58,5\, l\,(1-p^3)} = \frac{64 \times 300}{58,5 \times 26\,(1-0,343)} = 20 \text{ pouces}$$

à peu près. Cette force d'impulsion est peut-être la plus grande dont la poutre d'une chambre puisse être exposée à recevoir le choc. Et, comme cette aire de section serait suffisante pour la plus grande pression, il paraît inutile de calculer, dans la construction de ces sortes de pièces, l'effet de la force qui se meut.

278. Prop. 2. Déterminer une règle pour trouver les dimensions d'une barre uniforme destinée à résister à une force mouvante. Cette proposition se rapporte aux parties des machines, et comme

il est peu de personnes qui, s'occupant de la construction des machines d'une grande puissance, ne soient pas en état de faire l'application d'une équation, je me bornerai dans cette partie à donner les règles sous cette forme.

279. *Premier cas.* Quand une pièce uniforme est appuyée aux extrémités, et que la force mouvante agit sur le milieu de la longueur; par l'article 106, $f = 850$, et par l'article 174, $k = \frac{0,02}{12} = 0,00166$ pieds; et, puisque 3,2 livres = le poids d'un pied de longueur en fonte, sur un pouce en carré, on aura

$$p = \frac{3,2}{2} = 1,6,$$

donc

$$\frac{FV}{l\sqrt{33\frac{1}{6}fkp}} \text{ (art. 265)} = \frac{FV}{l\sqrt{32\frac{1}{6}\times 850\times 0,0016\times 1,6}}$$

$$= \frac{FV}{8,6l} = bd.$$

280. *Règle.* Quand F = la force en livres, que V = sa vitesse en pieds par seconde, l la longueur en pieds entre les appuis, b la largeur et d l'épaisseur en pouces, alors

$$\frac{FV}{8,6\,l} = bd.$$

281. *Deuxième cas.* Quand une pièce uniforme est portée sur un centre de mouvement, que la puissance agit à l'une des extrémités, et qu'elle est contre-balancée par une plus grande résistance à l'autre extrémité.

Par l'article 116, $f=212$, et par l'article 182

$k=0{,}08\,(1+r)$, et $p=\frac{3{,}2}{2}$;

donc $$\frac{FV}{l\sqrt{32\,\frac{1}{6}fkp}}=\frac{FV}{8{,}6\,l\sqrt{1+r}}=bd.$$

282. *Règle.* Faites F = la force en livres, V sa vitesse en pieds par seconde, l la longueur en pieds entre le centre de mouvement et le point où la force agit, et l' la longueur en pieds entre le centre de mouvement et le point de résistance, b et d étant la largeur et l'épaisseur en pouces, alors

$$\frac{l'}{l}=r \text{ et } \frac{FV}{8{,}6l\sqrt{1+r}}=bd.$$

283. Si $l=l'$, on a

$$\frac{FV}{8{,}6l\sqrt{2}}=\frac{FV}{12{,}2\,l}=bd.$$

284. *Exemple.* Déterminer l'aire de la section du balancier d'une machine à vapeur, dont l'é-

paisseur doit être uniforme, qui aura 24 pieds de longueur, et dont le centre de mouvement sera au milieu de la longueur; la pression sur le piston devant être de 5000 livres, et la plus grande vitesse de 4 pieds par seconde.

Par l'article 283,

$$\frac{FV}{12,2\,l} = bd = \frac{5000 \times 4}{12,2 \times 12} = 137 \text{ pouces à peu près.}$$

Si l'on donnait à cette pièce 30 pouces d'épaisseur, l'inflexion avec la pression indiquée serait d'environ 0,8 de pouce, et la largeur serait

$$\frac{137}{30} = 4,17 \text{ pouces,}$$

et un balancier de cette force pourrait soutenir un poids environ 12 fois plus fort que la pression qui a lieu sur le piston, sans détruire sa force élastique.

285. Prop. 3. Déterminer une règle pour trouver l'aire de la section du milieu d'une pièce parabolique destinée à résister à l'action d'un mouvement, la largeur étant partout uniforme.

Le mouvement communiqué au bras d'un levier est le même que si tout le poids se trouvait rassemblé à son centre de gravité, et la masse entière est à l'effet de cette masse réunie à l'extré-

mité, comme la longueur du bras de levier est à la distance de son centre de gravité. Par conséquent, lorsque la distance du centre de gravité est une portion de la longueur, l'effet de la masse du bras est une partie semblable de la totalité de son poids agissant à l'extrémité.

286. *Premier cas.* Une pièce parabolique étant soutenue aux deux extrémités, si la force mouvante agit au milieu de la longueur, alors par l'art. 106, on a $f = 850$, et par l'article 186,

$$k = \frac{0,04}{12} = 0,0033 \text{ pieds.}$$

De plus, comme l'aire d'une pièce parabolique est égale aux deux tiers de l'aire d'une barre d'une épaisseur uniforme, et que la distance du centre de gravité au centre de mouvement est égale aux trois cinquièmes de la longueur, on a

$$p = 3,2 \times \frac{2}{3} \times \frac{3}{5} = \frac{6,4}{5} = 1,28.$$

Par conséquent l'équation (art 265)

$$\frac{\text{FV}}{l\sqrt{32\frac{1}{6}\,fkp}} = \frac{\text{FV}}{l\sqrt{32\frac{1}{6}\times 850 \times 0,0033 \times 1,28}}$$

$$= \frac{\text{FV}}{l \times 10,8} = bd.$$

287. Dans les pièces qui sont appuyées aux deux bouts et dont la largeur est partout la même, la force d'une pièce parabolique pour résister à une force mouvante, est à celle d'une pièce uniforme, à peu près comme 10 : 8, et la pièce parabolique n'exige guère que les deux tiers de la quantité de métal qui entre dans l'autre.

288. *Règle.* Si F est la force en livres, V sa vitesse en pieds par seconde, l la longueur entière entre les appuis, et b et d la largeur et l'épaisseur en pouces, alors,

$$\frac{FV}{10,8l}=bd.$$

289. *Exemple.* Soit la force d'une machine à vapeur appliquée au milieu du balancier de manière à lui faire mouvoir un axe au moyen de deux manivelles placées de manière à recevoir leur impulsion par les extrémités de ce balancier. Soit la plus forte pression exercée sur le piston=3000 liv., sa plus grande vitesse de trois pieds au plus par seconde, et la longueur totale de douze pieds.

Par la règle (art. 288),

$$\frac{FV}{10,8l}=\frac{3000\times 3}{10,8\times 12}=bd=70 \text{ pouces.}$$

990. *Deuxième cas.* Quand une pièce de forme

parabolique est portée sur un centre de mouvement, que la force motrice agit à l'un des bouts, et qu'elle est contre-balancée par une plus grande résistance à l'autre bout.

D'après l'art. 116, $f=212$, et par l'art 189

$$k=\frac{0,16(1+r)}{12},$$

et

$$p=3,2\times\tfrac{8}{3}\times\tfrac{2}{5}=\frac{12,8}{15}=0,85333,$$

d'où

$$\frac{\text{FV}}{l\sqrt{32\frac{1}{6}fkp}}=\frac{\text{FV}}{l\sqrt{32\frac{1}{6}\times212\times0,853\times\frac{0,16(1+r)}{12}}}$$

$$=\frac{\text{FV}}{8,82\,l\sqrt{1+r}}=bd.$$

291. *Règle.* Faites $\text{F}=$ la force en livres, et V sa vitesse en pieds, par seconde; $l=$ la longueur en pieds depuis le centre de mouvement jusqu'au point où la force agit, et $l'=$ la longueur depuis le centre de mouvement jusqu'au point où se fait la résistance; faites aussi $b=$ la largeur et $d=$ l'épaisseur en pouces, et alors

$$\frac{l'}{l}=r\text{, et }\frac{\text{FV}}{8,82\,l\sqrt{1+r}}=bd.$$

292. Si $l = l'$, c'est-à-dire, si le centre de mouvement est au milieu du balancier,

$$\frac{FV}{12,5\,l} = bd.$$

293. Dans une machine à vapeur, on doit tenir compte du poids de l'appareil, de la force employée pour la pompe à air, et du poids des chevilles d'arrêt ; quand cette machine à vapeur fait aller des métiers, etc., le balancier ne doit pas être plus faible que ne l'indique la règle. Ordinairement on lui donne une épaisseur égale au diamètre du piston.

294. *Exemple.* Si la pression sur le piston d'une machine à vapeur est de 15000 livres, la longueur totale du balancier étant de 24 pieds et sa vitesse de 3 pieds par seconde, quelle sera l'aire de ce balancier ?

Dans ce cas

$$\frac{FV}{12,5\,l} = \frac{15000 \times 3}{12,5 \times 12} = bd = 300 \text{ pouces.}$$

Si l'on donne à l'arbre 48 pouces d'épaisseur, il devra en avoir $6\frac{1}{4}$ en largeur. La meilleure manière de l'établir est de le faire en deux parties de $3\frac{1}{8}$ pouces de largeur, placées à 12 ou 14 pouces

de distance, et bien liées l'une avec l'autre. Cet arrangement rend le travail de la machine plus sûr, et les deux parties donnent beaucoup moins de peine à remuer et à fixer dans leurs places que ne le ferait une seule pièce fort pesante.

295. Prop. 4. Déterminer une règle pour trouver l'aire de la section du milieu d'un balancier de largeur uniforme, l'épaisseur n'étant aux deux bouts que la moitié de celle du milieu, et celle-ci ayant une ouverture, ou un intervalle à jour; le balancier devant résister à une force motrice.

On suppose que les parties sont disposées de manière que le centre de gravité peut être considéré comme étant au milieu de la longueur du bras du balancier; ce qui est à peu près vrai dans la pratique, et ce qui rendra le calcul plus facile.

296. *Premier cas.* La barre étant portée sur des appuis aux deux extrémités, et la force appliquée sur le milieu de sa longueur; par l'article 162, $f = 850\,(1 - p^3)$, et par l'article 193,

$$k = \frac{0{,}0327}{12} = 0{,}002725\,;$$

de plus,

$$p = \frac{3,2 \times (1 - p')}{2} = 1,6\,(1 - p'),$$

et l'équation (art. 265),

$$\frac{FV}{l\sqrt{32\frac{1}{6} f k p}} =$$

$$\frac{FV}{l\sqrt{32\frac{1}{6} \times 850\,(1 - p'^3) \times 0,002725 \times 1,6\,(1 - p')}}$$

$$= \frac{FV}{10,92\, l \sqrt{(1 - p'^3) \times (1 - p')}} = bd.$$

297. *Règle.* Faites F = la force en livres; V, sa vitesse en pieds par seconde; l, la longueur totale entre les appuis; p' = le nombre que donnerait la division de l'épaisseur de la partie vide au milieu par l'épaisseur totale (si ce rapport n'était pas déterminé, on ne pourrait pas résoudre la question); faites enfin b et d égaux à la largeur et à l'épaisseur au milieu, et alors

$$\frac{FV}{10,92\, l \sqrt{(1 - p'^3) \times (1 - p')}} = bd.$$

298. Si $p' = 0,7$, ce qui est une proportion convenable, alors

$$\frac{FV}{4,85\, l} = bd.$$

299. *Deuxième cas.* Quand une barre ouverte au milieu, est portée sur un centre de mouvement, et que la force motrice agit à l'une des extrémités et la résistance à l'autre extrémité.

On trouve par la même méthode que celle qui précède,

$$\frac{FV}{10{,}92\, l \sqrt{(1-p^3)\times(1-p)\times(1+r)}} = bd.$$

300. *Règle.* Faites F = la force en livres; V = sa vitesse en pieds par seconde; l = la longueur du point où la force agit jusqu'au centre de mouvement, en pieds; l' = la longueur du centre de mouvement au point de résistance, b et d étant la largeur et l'épaisseur en pouces du milieu de la barre, et p le nombre que donne la division de la partie laissée vide au milieu, par la longueur totale; alors $\frac{l'}{l} = r$, et

$$\frac{FV}{10{,}92\, l \sqrt{(1-p^3)\times(1-p)\times(1-r)}} = bd.$$

301. Si $p = 0{,}7$, l'équation se réduit à

$$\frac{FV}{4{,}85\, l \sqrt{(1+r)}} = bd.$$

302. Et, quand le centre de mouvement est au milieu de la pièce, et que $p = 0,7$, on a

$$\frac{FV}{6,86\,l} = bd.$$

303. *Exemple.* Supposons, pour donner un exemple de la dernière équation, que la pression sur le piston d'une machine à vapeur soit de 15000 livres; que la vitesse du mouvement soit de trois pieds par seconde, et que la longueur totale de la pièce soit de 24 pieds, ce qui est la même supposition que dans l'exemple de l'article 294. Dans ce cas,

$$\frac{FV}{6,86\,l} = \frac{15000 \times 3}{6,86 \times 12} = 771 \text{ pouces} = bd.$$

Et, si l'on donne 48 pouces à l'épaisseur, on a

$$\frac{771}{48} = 16,06 \text{ pouces}$$

pour la largeur qui doit être la même dans toute la longueur de la pièce. Le volume du métal dans les parties supérieure et inférieure de la pièce se trouvera en multipliant l'épaisseur par 0,7. Ainsi $0,7 \times 48 = 33,6$; ce nombre étant retranché de 48, il reste 14,4 pouces, ou 7,2 pouces pour chaque côté.

On voit dans la figure 34 une pièce de cette

nature et qui a été dessinée avec ces proportions.

304. Toutes les règles de cette section et de la précédente, sont applicables à d'autres matériaux, en y substituant les valeurs convenables à leur force de cohésion, à leur densité, et à l'extension qu'elles peuvent prendre. Ces données se trouveront pour diverses espèces de matières dans la table suivante.

TABLE

DE PROPRIÉTÉS

DE DIFFÉRENS CORPS,

Utile pour les calculs, et rangée par ordre alphabétique.

Les données de cette Table répondent à la température moyenne et à la pression moyenne de l'atmosphère; la température moyenne est établie sur l'échelle de Fahrenheit, et répond à environ 12° de l'échelle de Réaumur, et à 15° du thermomètre centigrade.

---

1 ACIER. Pesanteur spécifique, 7,84. Poids d'un pied cube anglais, 490 livres, avoir du poids; poids d'un décimètre cube 7,84 kilogrammes. Une barre d'un pied de long et d'un pouce en carré pèse 3,4 livres. Une barre d'un mètre de long et de 25,4 millimètres d'équarrissage, pèse 5,068 kilogrammes. Il se dilate de $\frac{1}{157200}$ par un degré de chaleur (échelle de Fahrenheit). (*Général Roy.*); Force de cohésion d'un pouce carré 130000 liv. (*Rennie*); cette force est diminuée de $\frac{1}{5000}$ en élevant d'un degré (F.) la température; module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 29000000 livres; module d'élasticité pour une base de 645 millimètres carrés 1318200 kilogrammes. Hauteur du module d'élasticité, 8530000 pieds (*Doctor Young*).

2 Air. Pesanteur spécifique 0,0012 ; poids d'un pied cube, 527 grains troy (*Schuckburgh*). 13,3 pieds cubes d'air pesant 1 liv. avoir du poids. Il se dilate de 0,00208 de son volume par un degré de chaleur (F.). (*Dulong et Petit*).

3 Airain (*coulé*). Pesanteur spécifique, 8,37 ; poids d'un pied cube, 523 livres ; poids d'une barre d'un pied de long et d'un pouce en carré, 3,63 livres ; se dilate de $\frac{1}{93800}$ de sa longueur par un degré (F.) de chaleur (*Troughton*) ; entre en fusion à 1890° (*Daniel*). Force de cohésion d'un pouce carré, 18000 livres (*Rennie*). Peut résister sans altération permanente à 6700 livres ; et à un alongement de $\frac{1}{1333}$ de sa longueur ; poids du module d'élasticité pour un pouce carré, 8930000 liv. ; hauteur du module d'élasticité, 2460000 pieds ; module de résilience 5 ; résilience spécifique 0,6 (*Tredgold*).

Comparé avec la fonte prise pour unité, sa force est 0,435 de celle-ci ; son extensibilité de 0,9, et sa raideur ou sa résistance à la courbure 0,49.

4 Ardoise (*du pays de Galles*). Pesanteur spécifique 2,752 (*Kirwan*). Poids d'un pied cube, 172 liv. ; poids d'un décimètre cube, 2,752 kilogrammes. Poids d'une ardoise d'un pied de longueur et d'un pouce d'équarrissage, 1,19 livres. Force de cohésion d'un pouce carré 11500 livres ; alongement avant la fracture $\frac{1}{1370}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré, 15800000 livres ; hauteur du module d'élasticité 13240000 pieds ; module de résilience, 8,4 ; résilience spécifique, 2 (*Tredgold*).

5 Atmosphère. La pression moyenne de l'atmosphère à Londres est de 28,89 pouces de mercure = 14,18 livres sur un pouce carré (*Société royale*). La pression

moyenne de l'atmosphère est ordinairement évaluée à 30 pouces anglais de mercure (0,76 mètres), ce qui répond à très peu près à 14 $\frac{3}{4}$ livres sur un pouce carré, et équivaut à une colonne d'eau de 34 pieds de hauteur (de 10,363 mètres).

6 Baleine (*côte de*). Pesanteur spécifique 1,3. Poids d'un pied cube, 81 livres; peut résister à une pression de 5000 livres, et être alongée de $\frac{1}{146}$, sans altération permanente. Module d'élasticité pour une base d'un pouce carré, 820000 livres; module de résilience 38,3; résilience spécifique, 29 (*Tredgold*).

7 Brique. Pesanteur spécifique, 1841; poids d'un pied cube 115 livres; absorbe $\frac{1}{15}$ de son poids d'eau; force de cohésion d'un pouce carré 275 livres (*Tredgold*). Est écrasée par une force de 562 livres sur un pouce carré (*Rennie*).

Un pied cube de maçonnerie encore fraîche, en briques, pèse 117 liv.; un mètre cube pèse environ 1874 kilogram.

8 Chaux. Pesanteur spécifique 2,315. Poids d'un pied cube 144,7 livres. Est écrasée par une force de 500 liv. sur un pouce carré (*Rennie*). Poids d'un mètre cube 2315 kilogrammes.

9 Chêne *d'Angleterre de bonne qualité*. Pesanteur spécifique, 0,83; poids d'un pied cube 52 livres. Poids d'une règle d'un pied de long et d'un pouce carré, 0,36 livres; peut porter sur un pouce carré sans altération permanente 3960 livres; et résister à une extension de $\frac{1}{430}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 1700000 livres; hauteur du module d'élasticité 4730000 pieds; module de résilience 9,2; résilience spécifique 11 (*Tredgold*).

Comparé avec la fonte prise pour unité, sa force = 0,25; son extensibilité = 2,8; et sa résistance à la courbure 0,093.

10 CHEVAL. Un cheval d'une force moyenne produit le plus grand effet en tirant une charge, quand il exerce un effort de 187 $\frac{1}{2}$ livres, avec une vitesse de 2 $\frac{1}{2}$ pieds par seconde, en travaillant 8 heures par jour; ce qui équivaut à élever trois pieds cubes d'eau à deux pieds et demi, par seconde, ou sept pieds et demi cubes à un pied par seconde (*Tredgold*). Un bon cheval peut exercer une force de 480 liv. pendant un peu de temps (*Desaguliers*). Si l'on calcule pour les machines, la force d'un cheval doit être évaluée à 400 livres élevée à 3 pieds par seconde.

11 CORDE *de chanvre*. Le poids d'une corde ordinaire d'un pied de long et d'un pouce de circonférence varie de 0,04 à 0,046 de livre; et une corde de cette grosseur ne doit pas être exposée à une force de plus de 200 liv. Les cordes composées de l'assemblage d'autres cordes, comme les câbles, ne doivent pas avoir à résister à un effort de plus de 120 livres par pouce; et le poids d'un pied en longueur sur un pouce de circonférence ne surpasse pas pour un câble 0,027 de livre.

Le carré de la circonférence en pouces, multiplié par 200, donne pour produit le nombre de livres dont une corde ordinaire peut soutenir l'effort; ce même carré multiplié par 120, donne le nombre de livres dont un câble peut soutenir l'effort. Les cordes communes porteront avec sûreté une charge plus considérable quand elles auront servi quelque temps, parce que les fibres se trouvent alors plus également tendues par le tirage et les tours et détours qu'elles ont éprouvés. On a prétendu que

leur plus grande force était due à ce qu'elles étaient restées quelque temps emmagasinées; mais tout ce qu'on peut attendre de plus heureux quand on les garde en magasin, c'est qu'elles ne s'y détériorent pas.

12 CUIVRE *pesanteur spécifique* 8,75 (*Hatchett*). Poids d'un pied cube 549 livres. Poids d'un barreau d'un pied de long et d'un pouce en carré 3,81 livres; s'alonge par un degré de chaleur de $\frac{1}{105900}$ (*Smeaton*); entre en fusion à 2548° (F.) (*Daniell*). Force de cohésion d'un pouce carré après avoir été battu au marteau 33000 liv. (*Rennie*).

13 EAU *de rivière*. Pesanteur spécifique 1,000; poids d'un pied cube 62,5; poids d'un prisme d'un pied de long et d'un pouce en carré 0,434 livres; poids d'un gallon (*ale gallon*) 10,2 livres; se dilate en volume de $\frac{1}{3858}$ par un degré de chaleur (F.) (*Dalton*); se dilate en gelant de $\frac{1}{17}$ de son volume (*Williams*); et la force d'expansion de l'eau qui se gèle est d'environ 35000 livres sur un pouce carré, suivant le calcul de Musschenbroëk; module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 325000 liv.; hauteur du module d'élasticité 750000 liv. (*Young*).

L'eau a un maximum de densité qui ne répond pas au degré de congélation, mais qui se trouve à environ 40° de l'échelle de Fahrenheit (4° environ au-dessus de 0, Réaumur). Ceci est regardé comme une exception à la loi générale de la dilatation par la chaleur. Il est infiniment peu probable que ce soit autre chose qu'une exception apparente; et, très vraisemblement, elle n'est que le résultat de la grande quantité d'air que l'eau absorbe dans les basses températures, et dont l'effet est

d'en augmenter le volume, et de causer, par conséquent, l'apparente anomalie.

14 Eau *de mer*. Pesanteur spécifique, 1,0271; poids d'un pied cube 64,2 livres.

15 Étain *fondu*. Pesanteur spécifique 7,291 (*Brisson*); poids d'un pied cube 455,7 livres; poids d'une barre d'un pied de long et d'un pouce carré 3,165 livres; s'étend en longueur par 1° de chaleur $\frac{1}{72510}$ (*Smeaton*); entre en fusion à 442° (*Crichton*); peut porter sans altération permanente 2880 livres sur un pouce carré, et être étendu de $\frac{1}{1600}$ en longueur; module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 4608000 livres; hauteur du module d'élasticité 1453000 pieds. Module de résilience 1,8; résilience spécifique 0,247 (*Tredgold*).

Comparé avec la fonte de fer prise pour unité, sa force = 0,182; son extensibilité = 0,75, et sa résistance à la courbure = 0,25.

17 Fonte *de fer*. Pesanteur spécifique 7,207; poids d'un pied cube, 450 livres; un barreau d'un pied de long et d'un pouce en carré pèse à peu près 3,2 livres; il se dilate de $\frac{1}{162000}$ de sa longueur par un degré de chaleur (*Roy*); plus grand changement en longueur, placée à l'ombre dans le climat de Londres $\frac{1}{1723}$; plus grand changement en longueur exposée aux rayons du soleil, $\frac{1}{1870}$; entre en fusion à 3479° (*Daniel*); et se retire en refroidissant de $\frac{1}{98}$ à $\frac{1}{85}$ de sa longueur (*Muschet*); s'écrase sous un poids de 93000 liv. sur un pouce carré (*Rennie*); peut porter sans altération permanente 15300 liv. sur un pouce carré, et être étendue de $\frac{1}{1204}$ de sa longueur; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 18400000 livres, hauteur du module d'élas-

ticité 575000 pieds; module de résilience 12,7; résilience spécifique 1,76 (*Tredgold*).

18 Glaise (*Terre*). Pesanteur spécifique 2,0; poids d'un pied cube 125 livres.

19 Granite *d'Aberdeen*. Pesanteur spécifique 2,625; poids d'un pied cube 164 livres; est écrasé par une force de 10,910 livres sur un pouce carré (*Rennie*).

20 Hêtre. Pesanteur spécifique 0,696; poids d'un pied cube 45,3; poids d'une règle d'un pied de long et d'un pouce d'équarrissage 0,315 livres; peut supporter sur un pouce carré sans altération permanente 2360 livres et être étendu de $\frac{1}{570}$ de sa longueur; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 1345000 liv.; hauteur du module d'élasticité 4600000 pieds; module de résilience 4,14; résilience spécifique 6 (*calculé d'après les expériences de Barlow*).

Comparé avec la fonte prise pour unité, sa force est 0,15; son extensibilité = 2,1; et sa résistance à la courbure = 0,073.

21 Houille *de Newcastle*. Pesanteur spécifique 1,269; poids d'un pied cube, 79,31 livres.

22 Homme. Un homme d'une force ordinaire produit son plus grand effet lorsqu'il exerce une force de 31 $\frac{1}{4}$ livres, avec une vitesse de 2 pieds par seconde, pendant dix heures en une journée; ce qui équivaut à un demi-pied cube d'eau (14,15 kilogrammmes) élevés à deux pieds (0,609 mètres) par seconde (*Tredgold et Buchanan*). Un homme vigoureux peut porter de 250 à 300 livres (*Desaguliers*).

23 Maçonnerie. Poids d'un pied cube, environ 140 livres; poids d'un mètre cube, environ 2240 kilogrammes.

24 Marbre *blanc*. Pesanteur spécifique 2,706; poids d'un pied cube 169 livres; poids d'une barre d'un pied de long et d'un pouce carré 1,17 livres; force de cohésion d'un pouce carré 1,811 livres; s'étend de $\frac{1}{1394}$ de sa longueur; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 2520000 livres; hauteur du module d'élasticité 2150000 pieds; module de résilience au point de fracture 1,3; résilience spécifique au point de fracture 0,48 (*Tredgold*); est écrasé par une force de 6060 liv. sur un pouce carré (*Rennie*).

25 Mélèse. Pesanteur spécifique 0,560; poids d'un pied cube 35 livres; poids d'une règle d'un pied de long sur un pouce en carré 0,243 livres; peut porter sans altération permanente 2065 livres sur un pouce carré, et être étendu de $\frac{1}{520}$ de sa longueur; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 10740000 liv.; hauteur du module d'élasticité 4415000 pieds; module de résilience 4; résilience spécifique 1,7 (*Calculé d'après les expériences de Barlow*).

Comparé à la fonte prise pour unité, sa force=0,136; son extensibilité est de 2,3; et sa résistance à la courbure de 0,058. Je dois observer ici que j'ai fait des expériences sur différentes espèces de mélèze qui donneraient une force moyenne à ce bois beaucoup plus grande relativement à la fonte; mais je n'ai point observé le point où il perd sa force élastique.

26 Métal *pour les canons* (huit parties de cuivre et une partie d'étain). Pesanteur spécifique 8,153; poids d'un pied cube 509 livres et $\frac{1}{2}$; poids d'un barreau d'un pied de long sur un pouce carré 3,54 liv. (*Tredgold*), alongement par un degré de chaleur $\frac{1}{99990}$ (*Smeaton*);

peut, sans altération permanente, porter 10000 livres sur un pouce carré, et être alongé de $\frac{1}{960}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 9873000 liv.; hauteur du module d'élasticité 2790000 pieds; module de résilience 10,4; résilience spécifique 1,27 (*Tredgold*).

Comparé avec la fonte prise pour unité, sa force est = 0,65; son extensibilité = 1,25; et sa résistance à la courbure 0,535.

27 Mètre. Unité fondamentale des poids et mesures de France; il est égal à la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre; un mètre est égal à 3,2808 pieds anglais; un mètre carré = 10,763 pieds carrés anglais; un mètre cube = 35,313 pieds cubes anglais; un mètre = 3,078 pieds français; un mètre carré = 9,474 pieds carrés français; un mètre cube = 29,16 pieds cubes français.

28 Mercure. Pesanteur spécifique, 13,598 (*Brisson*); poids d'un pouce cube 0,4948 livres; se dilate en volume par un degré de chaleur de $\frac{1}{9990}$ (*Dulong et Petit*); poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 4417000 livres; hauteur du module d'élasticité 750000 pieds (*Docteur Young*).

29 Orme. Pesanteur spécifique 0,544; poids d'un pied cube 34 livres; poids d'une règle d'un pied de long et d'un pouce carré 0,236 livres; peut, sans altération permanente, porter 3240 livres sur un pouce carré, et être alongé de $\frac{1}{414}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 1340000 livres; hauteur du module d'élasticité 5680000 pieds; module de résilience

7,87; résilience spécifique 14,4 (*Calculé d'après les expériences de Barlow*).

La force de l'orme comparée à celle de la fonte prise pour unité, est égale à 0,21; son extensibilité à 2,9; et sa résistance à la courbure 0,673.

30 Pendule. La longueur du pendule qui bat les secondes sous la latitude de Londres, est de 39,1372 pouces (*Kater*), et celle du pendule qui bat les demi-secondes, est de 9,7843 pouces.

31 Pesanteur. Elle engendre une vitesse de 32 $\frac{1}{6}$ pieds (9,804 mètres) par seconde; et parcourt dans la première seconde 16 $\frac{1}{12}$ pieds (4,902 mètres).

32 Poids et mesures d'Angleterre. La livre anglaise dont il est question dans cet Essai, est la livre avoir du poids. On l'a comptée comme étant de 7004 grains troy, équivalant à 0,453,514 grammes, d'après l'évaluation de M. Biot (*Cours de Physique, Tables usuelles*). Cependant elle serait plus forte de 5 grains si, comme le dit l'auteur dans cette table même (*art. Air*), 13,3 pieds cubes d'air pèsent exactement 1 livre; mais elle serait plus faible d'environ 5 grains si 0,0753 liv. égalent 527 grains; on a pris un terme moyen entre ces deux valeurs.

Le pied anglais est égal à 0,304799 mèt.; le pied carré = 9,29 décimètres carrés; le pied cube = 28,306 décimètres cubes; le pied anglais est égal à 11 pouces 3 lignes et 117 millièmes de pouce de France = 0,937; le pied carré = 0,88 pieds carrés de France; le pied cube = 0,826 pieds cubes français.

Un pouce anglais est égal à 25,399 millim.; un

pouce carré = 645,1 millimètres carrés, un pouce cube = 16384,89 millimètres cubes.

Un pouce anglais est égal à 11 lignes et 259 millièmes de France; un pouce carré à 0,88 pouces carrés français, un pouce cube à 0,826 pouces cubes français (*le Traducteur*).

33 PIN *jaune d'Amérique*. Pesanteur spécifique 0,46; poids d'un pied cube 26 $\frac{3}{4}$ livres; poids d'une règle d'un pied de long et d'un pouce en carré 0,186 livres; peut, sans altération permanente, porter 3900 livres sur un pouce carré, et être alongé de $\frac{1}{414}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 1600000 liv.; hauteur du module d'élasticité 8700000 pieds; module de résilience 9,4; résilience spécifique 20 (*Tredgold*).

La force de ce bois comparé à la fonte comme unité, est 0,25 de celle-ci; son extensibilité de 2,9, et sa résistance à la courbure de 0,087.

34 PLANCHERS. Le poids d'un pied carré de plancher est d'environ 40 livres quand il y a des poutres en fonte, des planches en-dessous comme en-dessus, et un plafond. Quand un plancher est couvert d'hommes, la charge sur chaque pied cube peut être évaluée à 120 liv. Ainsi quand on calcule l'effort qu'aura à soutenir le plancher d'une chambre, il faut compter au moins sur 160 livres par pied carré de sa surface.

35 PLOMB *fondu*. Pesanteur spécifique 11,352 (*Brisson*); poids d'un pied cube 709,5 livres; poids d'un barreau d'un pied de long et d'un pouce en carré 4,94 livres; s'alonge par 1° (F.) de chaleur de $\frac{1}{62800}$ (*Smeaton*); entre en fusion à 612° (F.) (*Crichton*); peut porter sur un pouce carré, sans altération permanente, 1500 liv.,

et être étendu en longueur de $\frac{1}{480}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 720000 livres ; hauteur du module d'élasticité 146000 pieds ; module de résilience 3,12 ; résilience spécifique 0,27 (*Tredgold*).

Comparée avec celle de la fonte prise pour unité, sa force est 0,096 ; son extensibilité 2,5 ; et sa résistance à la courbure 0,0385.

36 PONT. Quand un pont est couvert d'hommes, leur poids peut être évalué à 120 livres par chaque pied carré de la surface du pont ; c'est là la plus forte charge étrangère que l'on puisse supposer rassemblée sur un pont ; mais il n'offrirait pas une sûreté convenable s'il n'était pas assez fort pour porter la totalité de cette charge.

37 PORPHYRE *rouge*. Pesanteur spécifique 2,871 ; poids d'un pied cube 179 livres ; est écrasé par une force de 35568 livres sur un pouce carré (*Gauthy*).

38 SAPIN *rouge ou jaune*. Pesanteur spécifique 0,557 ; poids d'un pied cube 34,8 livres ; peut, sans altération permanente, porter 4290 livres sur un pouce carré, et être alongé de $\frac{1}{470}$; poids du module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 2016000 livres ; hauteur du module d'élasticité 8330000 pieds ; module de résilience 9,13 ; résilience spécifique 16,4 (*Tredgold*).

Comparée à celle de la fonte prise pour unité, sa force est de 0,3 ; son extensibilité de 2,6 ; et sa résistance à la courbure de 0,1154.

39 SAPIN *blanc*. Pesanteur spécifique 0,47 ; poids d'un pied cube 29,3 livres ; poids d'une règle d'un pied de long et d'un pouce en carré 0,204 livres ; peut, sans altération permanente, porter 3630 livres sur un pouce carré, et être étendu en longueur de $\frac{1}{504}$; poids du module d'é-

lasticité pour une base d'un pouce carré 1830000 liv.; hauteur du module d'élasticité 8970000 pieds; module de résilience 7,2; résilience spécifique 15,3.

Comparée avec celle de la fonte prise pour unité, sa force est de 0,23; son extensibilité de 2,4, et sa résistance à la courbure de 0,1.

40 Terre *commune*. Pesanteur spécifique de 1,52 à 2; poids d'un pied cube de 95 à 125 livres.

41 Toits. Poids d'un pied carré de couverture en ardoises du pays de Galles, 11,25 livres; poids d'un pied carré de couverture en tuile unie, 16 $\frac{1}{4}$; la plus grande force du vent sur un toit peut être estimée à 40 livres par pied carré.

42 Vapeur. La pesanteur spécifique de la vapeur à 212° (80° R.) est à celle de l'air prise à la température moyenne comme 0,472 est à 1 (*Thomson*); poids d'un pied cube 249 grains troy; module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 14 $\frac{3}{4}$; quand elle n'est pas en contact avec l'eau elle se dilate de $\frac{1}{480}$ de son volume par un degré de chaleur (*Gay-Lussac*).

43 Vent. Plus grande vitesse du vent observée 159 pieds (48,5 mètres) (*Rochan*); force du vent qui a cette vitesse, environ 57 $\frac{3}{4}$ livres sur un pied carré.

Table de la force du vent dressée d'après les Tables de M. Rouse et du docteur Lind, et comparée avec les observations du colonel Beaufoy.

Vitesse en milles (1) par heure.		Vitesse par seconde. pieds.	Force sur un pied carré. livres.
6,8	Brise légère........	10	0,129
13,6	Brise fraîche......	20	0,915
19,5	Forte brise.......	30	2,059
34,1	Vent fort.........	50	5,718
47,7	Vent grand frais..	70	11,207
54,5	Tempête	80	14,638
68,2	Tempête violente...	100	22,872
81,8	Ouragan..........	120	32,926
102,3	Ouragan renversant arbres et maisons.	150	51,426

Des observations exactes sur les changemens et sur l'intensité moyenne de la force du vent seraient très utiles pour les mécaniciens et pour les personnes qui s'occupent de météorologie.

44 Zinc *fondu.* Pesanteur spécifique 7,028 (*Watson*); poids d'un pied cube 439 livres $\frac{1}{4}$; poids d'un barreau de zinc d'un pied de long et d'un pouce en carré 3,05 liv.; s'alonge par 1° (F.) de chaleur de $\frac{1}{61200}$ (*Smeaton*);

(1) Un mille anglais équivaut à un peu plus de 2100 mètres.

entre en fusion à 648° (*Daniell*); peut porter, sans altération permanente, 5700 liv. sur un pouce carré, et être étendu en longueur de $\frac{1}{4200}$; module d'élasticité pour une base d'un pouce carré 13680000 livres; hauteur du module d'élasticité 4480000 pieds; module de résilience 2,4; résilience spécifique 0,34 (*Tredgold*).

Comparée à celle de la fonte prise pour unité, sa force est de 0,365; son extensibilité de 0,5, et sa résistance à la courbure de 0,76.

La cassure du zinc est très belle, elle est radiée et conserve long-temps son brillant.

NOTE

Sur l'action de certaines substances sur la fonte.

Dans quelques circonstances, la fonte se décompose et se convertit en une substance douce qui ressemble à la plombagine. J'en citerai ici quelques exemples intéressans pour les personnes qui emploient la fonte à différentes constructions.

Le docteur Henry a observé que quand on laisse de la fonte en contact avec du muriate de chaux ou avec du muriate de magnésie, la plus grande partie du fer est enlevée, et que la pesanteur spécifique de la masse se trouve réduite à 2,155 ; et que ce qui reste consiste principalement en plombagine et en impuretés, telles que celles qu'on rencontre d'ordinaire dans la fonte (*Doctor Thomson's Annals of Philosophy*, *vol. V*, *p.* 66).

Un changement semblable a eu lieu dans quelques cylindres de fonte à l'usage des apprêteurs de drap ; l'apprêt dont ils se servent est une espèce de pâte faite avec de la farine de froment ou d'orge. Cette pâte corrodait les cylindres, et son effet était si rapide, qu'il a fallu les remplacer par des cylindres en bois. Le docteur Thomson attribue ce changement à l'acide formé par la pâte qui s'aigrissait (*Annals*, *vol. X*, *p.* 302).

Un exemple plus important est celui que rapporte M. Brande (*Quarterly Journal of Science*, *vol. XII*, *p.* 407). Une portion d'un canon de fonte avait éprouvé

un semblable changement après avoir été long-temps plongé dans de l'eau de mer. Cette portion se trouva convertie, à un pouce de profondeur, en une substance qui avait tous les caractères extérieurs de la plombagine; elle se coupait facilement, était grasse au toucher, et laissait une teinte noire sur le papier. Les parties constituantes étaient dans le rapport que voici :

Oxide de fer.......	81	parties
Plombagine.......	16	
	97	

M. Brande n'y put découvrir aucune apparence de silice; il remarque que des ancres et d'autres articles de fer forgé exposés de la même manière, sont simplement oxidés à la surface et n'offrent d'ailleurs rien de particulier.

Près de la ville de Newhawen, en Amérique, on a trouvé un boulet de canon qui, ainsi qu'on en a acquis la certitude, était enterré depuis environ 42 ans dans un sol tenu constamment humide par les eaux de la mer, et n'avait éprouvé aucun dérangement. Le diamètre de ce boulet était de 3,87 pouces (environ 98 millimètres); on passa avec facilité une scie ordinaire dans une couche d'une matière plombagineuse épaisse d'un demi pouce à l'endroit qu'on scia; mais l'épaisseur n'était pas partout la même. La plombagine coupée avec la même facilité, laissait aussi une trace sur le papier, et avait toutes les propriétés de la mine de plomb ordinaire.

Un autre boulet tiré d'un vaisseau naufragé et qui paraissait avoir été sous l'eau depuis un grand nombre d'années, avait éprouvé un changement semblable; ce boulet

était recouvert d'huîtres qui y adhéraient fortement, et sa partie extérieure était convertie en plombagine. Mais un vieux canon, également recouvert d'huîtres, ne présenta aucune apparence d'un changement semblable, lorsqu'on en eut retiré les huîtres qui l'enveloppaient (*Phillips's Annals of Philosophy, vol. IV*).

Le lecteur qui voudrait s'occuper de cet objet intéressant pourrait consulter un article du Quarterly Journal of Science, vol. II, p. 278, sur la structure mécanique du fer, etc., par M. Daniell. Ce savant a fait plusieurs expériences dans la vue de déterminer la nature de la substance ressemblant à la plombagine, que l'on trouve à la surface du fer après qu'il a été exposé à l'action d'un acide.

M. Daniell a trouvé que la structure du fer, comme elle est développée par la solution, est très différente en différentes espèces; et qu'il faut trois fois autant de temps pour saturer une portion donnée d'acide quand elle agit sur de la fonte blanche que lorsqu'elle agit sur de la fonte grise.

EXPLICATION

DES PLANCHES.

Fig. I. Barre portée sur deux appuis et chargée au milieu de sa longueur. *Voy.* art. 7.

Fig. II. Pièce portant une charge distribuée uniformément sur sa longueur, montrant la manière dont a été faite l'expérience détaillée à l'article 50. *Voy.* cet article.

Fig. III. Forme d'une pièce d'égale résistance qui doit recevoir une charge en C. ACD et BCD sont deux demi-paraboles dont A et B sont les sommets. Les lignes ponctuées font voir ce qu'il convient d'ajouter à cette forme pour qu'elle puisse servir dans la pratique. *Voy.* art. 22 et 89, et de 185 à 191.

Fig. IV. Forme d'une pièce qui offre partout une résistance aussi égale que cela peut avoir lieu dans la pratique. Elle est terminée par des lignes droites, et l'épaisseur aux extrémités est la moitié de celle du milieu. *Voy.* art. 15, exemple VII. 23, 54, 93 et de 192 à 196.

Fig. 5. La dernière forme modifiée pour le cas où la force agit tantôt par en haut et tantôt par en bas. *Voyez* art. 24, 93 et 192 à 196.

Fig. 6. Figure d'égale résistance pour une pièce dont

l'épaisseur est uniforme. *Voy*. art. 25, 88 et 204 à 208.

Fig. 7. Modification de la *fig*. 6, qui présente la forme la plus économique d'égale résistance à la pression. B′ fait voir la forme que doit avoir le bout. *Voy*. art. 25.

Fig. 8. Figure d'égale résistance pour une charge qui roule sur sa partie supérieure, comme dans un chemin à ornières en fer, ou pour une charge distribuée uniformément sur sa longueur. ACB est une demi-ellipse. Les lignes ponctuées font voir les additions qu'exige la pratique. *Voy*. art. 26, 91, 202 et 203.

Fig. 9. Forme de section la plus forte pour une pièce qui doit résister à une pression latérale. AM est la ligne de passage de la tension à la compression que j'ai appelée l'*axe neutre*. *Voy*. art. 31, 43, 84, 147—159 et 274.

Fig. 10. Application de la forme de section de la *fig*. 9 à un plancher à l'épreuve du feu; la projection remplit le double but d'ajouter à la force, et de servir de support aux arceaux. *Voy*. art. 31 et 156.

Fig. 11. Représente une pièce très économique propre à porter une charge répartie sur sa longueur; elle convient aux poutres, soit pour soutenir des planchers, soit pour porter des murs. On a donné, à la page 39, une règle facile pour proportionner les poutres. Quand on emploie cette forme pour des poutres de plancher, les vides servent à poser les solives de traverse. AB et CD sont les formes de section dans ces endroits. *Voyez* art. 19, exemple XII, 32, 34, 85, 160 à 172 et 276.

Fig. 12. Cette figure représente une pièce de fonte faite sur les mêmes principes que la précédente, excepté que la

charge est supposée n'agir qu'en un seul point A. *Voyez* art. 34, 34ª, 85 et 160—172.

Fig. 13. Coupe d'un arbre tournant. *Voy.* art. 35.

Fig. 14. Figure pour démontrer l'action des forces sur une barre, et pour expliquer le mode de calcul. *Voyez* art. 75, 77, 94 et 117.

Fig. 15. Section de la pièce de la fig. 14, faite en BD. Cette coupe est supposée être divisée en lames minces. *Voyez* art. 75.

Fig. 16. Figure pour éclaircir la méthode de calculer la courbure des pièces. Je me suis plus attaché dans ces deux dernières figures, à rendre les parties indiquées bien distinctes, qu'à observer exactement les proportions des parties entre elles. *Voyez* art. 86.

Fig. 17 sert à montrer les circonstances qui ont lieu dans l'inflexion des pièces dont une des extrémités est encastrée. *Voyez* art. 96 et 117.

Fig. 18 explique la manière de calculer la force des manivelles. *Voyez* art. 98.

Fig. 19. Pour expliquer la manière d'évaluer la force et la courbure d'une barre supportée à ses extrémités. *Voy.* art. 99, 106, 109, 112 et 127.

Fig. 20. Cette figure sert à démontrer comment se calcule l'effort exercé sur une barre quand une charge est distribuée sur elle d'une manière régulière. Quand la charge est uniforme, *ad* est la ligne qui représente sa face supérieure; quand la charge augmente comme la distance de l'extrémité A, *cd* est la ligne qui la borne; et quand la charge augmente comme le carré de la distance

de A, *bd* est la ligne qui la borne. Le second cas est le même que lorsqu'un fluide presse contre une feuille verticale fixée aux extrémités. *Voy.* art. 101, 104 et 122.

Fig. 21. ACB est la figure d'égale résistance pour un poids uniforme. Elle est employée ici pour le support d'un balcon, et quelle que soit la forme qu'on veuille donner au-dessous du balcon comme ornement, le support ne doit pas être diminué en-dedans de la ligne BC. *Voyez* art. 26^b, 93^c et 120.

Fig. 22. Quand la largeur est uniforme et que C′D′ est la forme de section, la figure d'égale résistance pour une charge placée au milieu est formée par deux demi-paraboles, comme dans la figure 3. Ces demi-paraboles sont marquées par des lignes ponctuées. Dans la pratique, la pièce doit être faite comme la représente la figure. *Voyez* art. 149, 185—189.

Fig. 23. Cette figure sert à expliquer la nature des forces variables. *Voyez* art. 249.

Fig. 24. Si la section d'une barre est C′D′, et que la largeur soit uniforme, la figure d'égale résistance pour une charge uniforme, comme pour une poutre de plancher, est une demi-ellipse, telle que la montrent les lignes ponctuées; il en est de même quand la charge roule ou glisse sur la pièce; dans la pratique on lui donne la forme de la figure. On trouve à la page 41, une règle facile pour déterminer la forme des poutres de cette espèce. *Voyez* art. 19, exemple XIII, 150, 155, 202, 203 et 275.

Fig. 25. Pièce fixée à une extrémité; *a′b′* en est la section; la charge agissant à l'extrémité C, la figure d'égale résistance est une demi-parabole. *Voyez* art. 158, 185—191.

Fig. 26. Forme convenable pour le balancier d'une machine à vapeur dont la forme de section est $a'b'$. *Voy.* art. 31, 158, 184, 185—191.

Fig. 27. Esquisse d'une pièce destinée à porter une charge considérable distribuée uniformément sur sa longueur, quand la portée est assez grande pour qu'on soit obligé de la couler en deux morceaux. La liaison doit se faire avec des bandes de fer forgé plat, qui se placent de chaque côté en C et qui s'étendent dans des parties correspondantes de la pièce. On doit préférer le fer forgé pour ces bandes, parce qu'il est plus ductile et par conséquent plus sûr. *Voyez* la figure suivante et les articles 160 à 172.

Fig. 28. C'est le dessous de la pièce de la *figure* 27. Les bandes sont liées ensemble par des chevilles; mais il faut observer que la force doit dépendre de l'engrenage, et que les chevilles n'ont d'autre objet que de retenir les bandes; aucun autre moyen de liaison n'est nécessaire en-dessus de la pièce, qu'une cheville *cd* ou toute autre chose de même nature, pour la maintenir. *Voy.* art. 161.

Fig. 29. Figure pour expliquer la nature de la résistance à la torsion. *Voy.* art. 223.

Fig. 30. Figure pour montrer l'action des forces sur les colonnes, les piliers, etc. *Voy.* art. 230.

Fig. 31 fait voir l'effet d'un surplomb ou de tout autre dérangement de la direction de la force. *Voyez* art. 8ᵉ et 235.

Fig. 32. Autre cas de dérangement dans la direction de l'effet de la charge sur une colonne. *Voy.* art. 237.

Fig. 33. Pour montrer la raison qui doit empêcher

d'élargir les colonnes soit à la base, soit au sommet. *Voy.* art. 237.

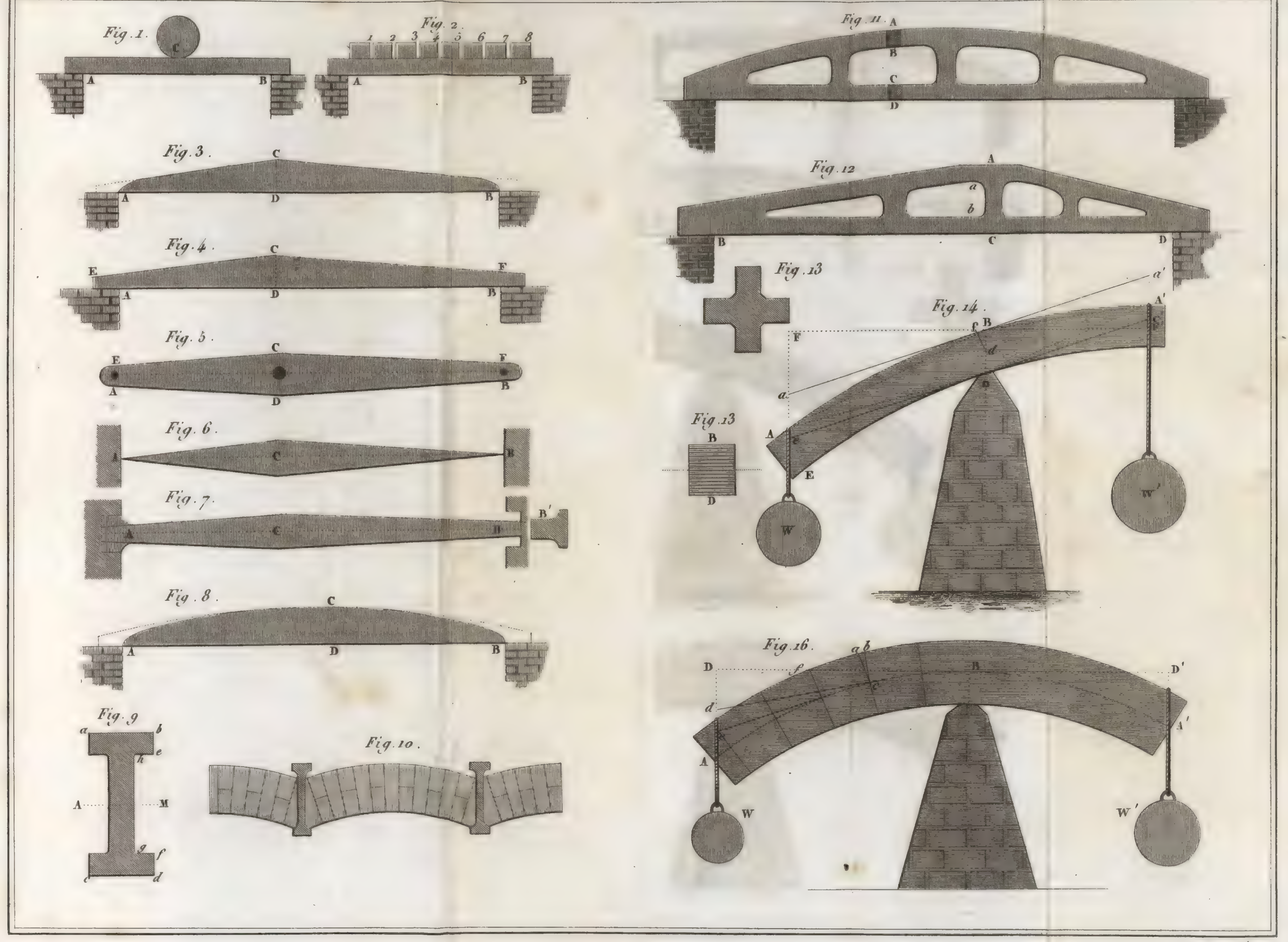
Fig. 34. Esquisse d'un balancier ouvert, très propre à servir de balancier pour une machine à vapeur. *Voy.* article 303. Dans les pièces peu considérables, la partie du milieu doit être entièrement vide excepté au centre. Le major Kater a employé cette forme pour les bras d'une balance délicate.

L'explication des figures qui composent la dernière planche, se trouve dans le texte et ne serait ici qu'une répétition sans utilité.

TABLE DES SECTIONS.

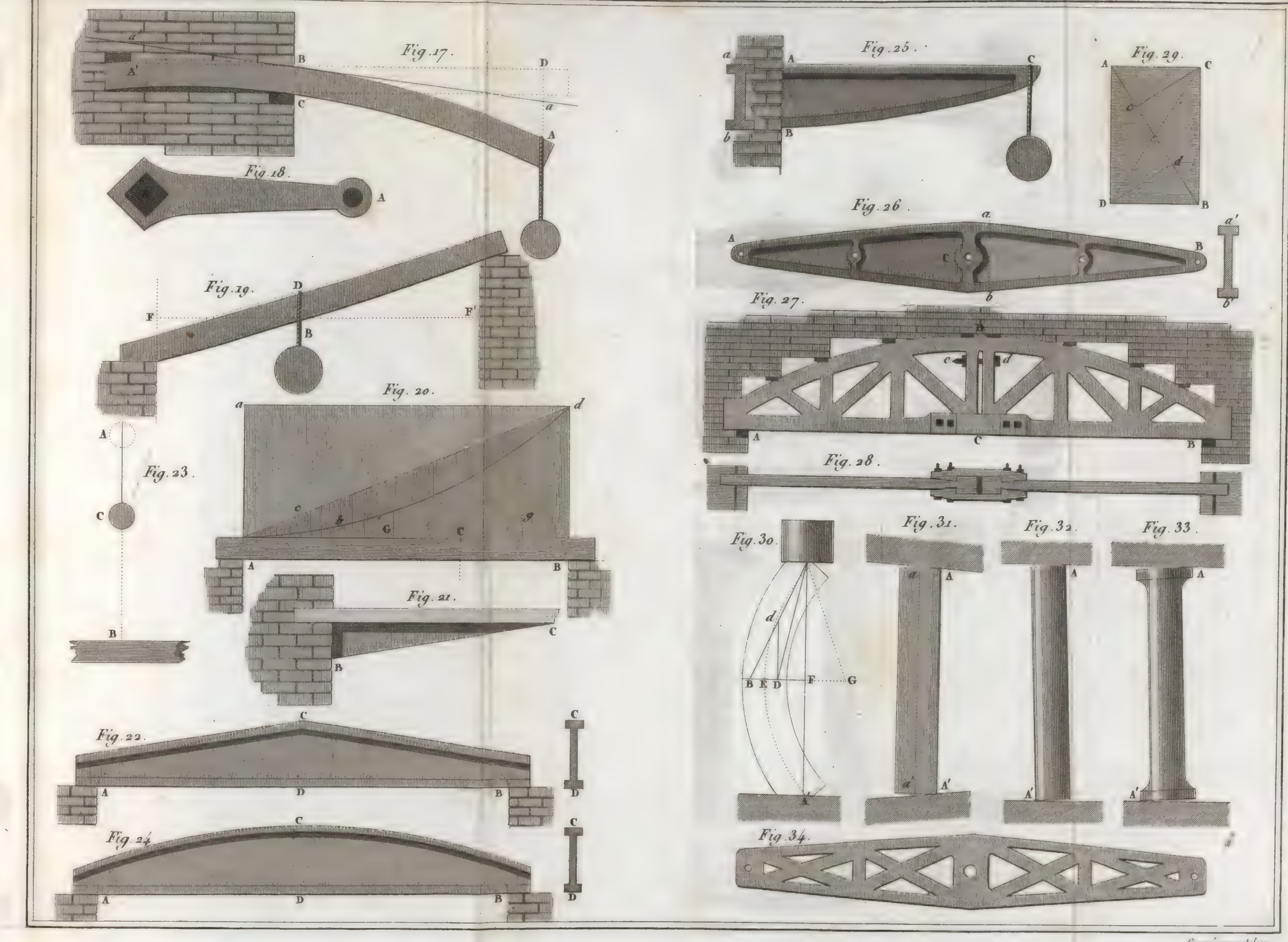
ERRATA.

Page 1, ligne dernière de la note, *au lieu de* du fer coulé, *lisez* de fer coulé
page 3, ligne 25, *au lieu de* la salubrité, *lisez* la solidité
page 6, ligne 25, *au lieu de* perdre la force, *lisez* perdre sa force
page 16, ligne dernière de l'observation, *au lieu de* $4+20+32=265$, *lisez* $4\times 20\times 3,2=256$
page 34, ligne dernière, *au lieu de* la seconde colonne à gauche, *lisez* la dernière colonne à droite
page 38, ligne 2, *au lieu de* potrer, *lisez* porter
page 41, ligne 21, *au lieu de* raide, *lisez* roide
page 42, ligne 1, *au lieu de* raide, *lisez* roide
page 44, ligne 23, *au lieu de* 10,2, *lisez* 1,02
page 47, ligne 14, *après* 36 tonneaux, *ajoutez* à ce nombre
page 48, ligne 6, *au lieu de* produite par le poids, *lisez* produite par ce poids
page 55, ligne 11, *au lieu de* $(3+40)+20=140$, *lisez* $3\times 40+20=140$
page 55, ligne 14 et 15, *au lieu de* $2+40=280$, *lisez* $2\times 140=280$
page 58, ligne 8, *au lieu de* grandeur, *lisez* grosseur
page 59, ligne première de la note, *au lieu de* $\frac{fbd^2}{bl}$ *lisez* $\frac{fbd^2}{6l}$
page 59g, ligne 4 de la note, *au lieu de* $\frac{bd^2}{bl}$, *lisez* $\frac{bd^2}{6l}$, et *au lieu de* $bl : d$, *lisez* $6l : d$
page 68, note 2, *au lieu de* de Fergusson's, lectures, *lisez* Ferguson's lectures
page 88, ligne 6, *au lieu de* (1 1 + 2 + etc.), *lisez* (1 + 3 + etc.)
page 158, ligne 11, *au lieu de* statistique, *lisez* statique
page 167, ligne 6, *au lieu de* les équations 15 et 18, *lisez* les équations *p* et *s*
page 176, ligne dernière, *au lieu de* la courbe DA, *lisez* la courbure DA



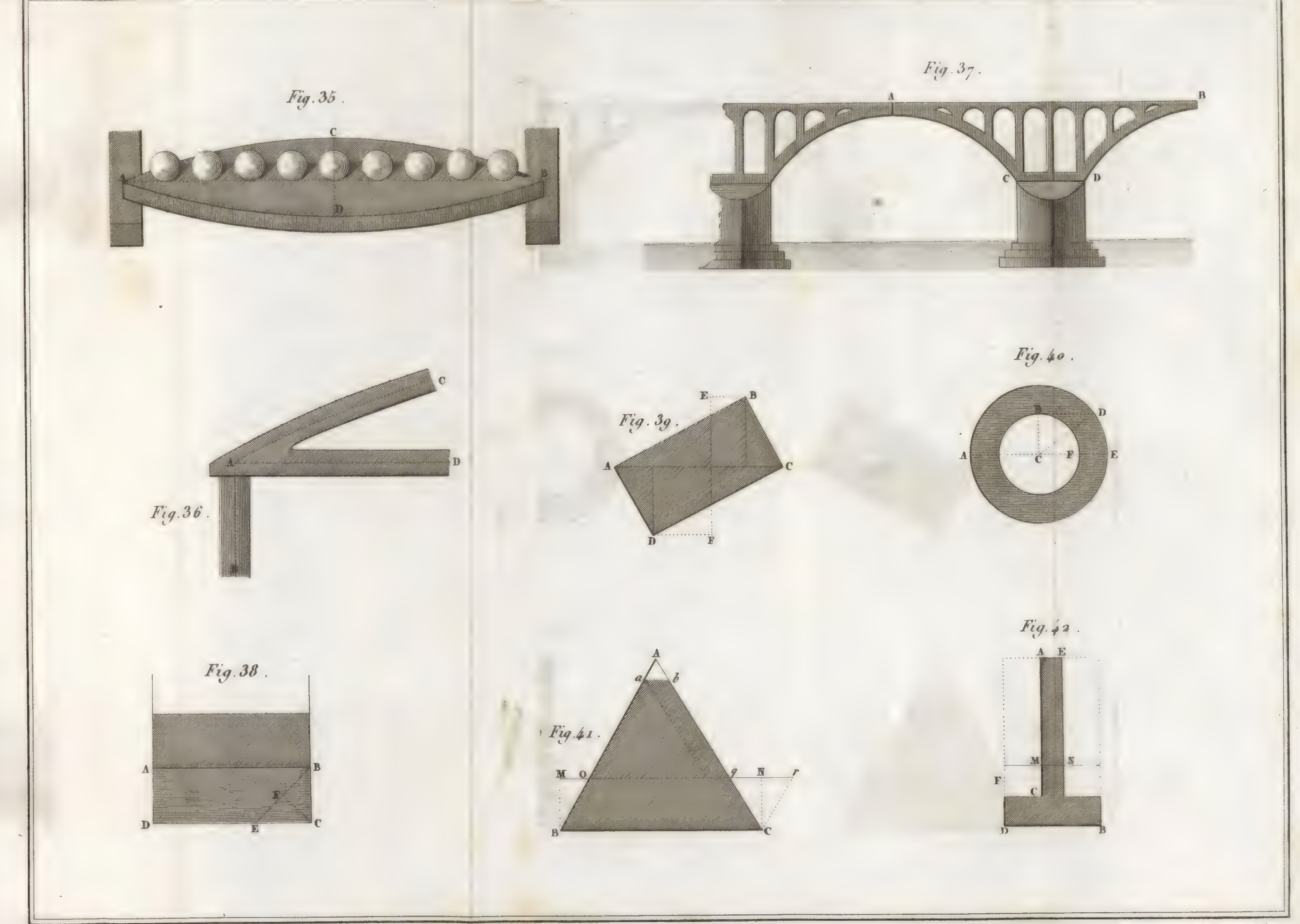
Gravé par Adam

Back of
Foldout
Not Imaged



Gravé par Adam

Back of
Foldout
Not Imaged



Gravé par Adam

Back of
Foldout
Not Imaged

